



TECNICATURA SUPERIOR EN

**Telecomunicaciones**

---

**Electrónica Microcontrolada**

Fundamentos de Electrónica

## Que es la ELECTRONICA ?

La **electrónica** es una rama de la física aplicada que comprende la física, la ingeniería, la tecnología y las aplicaciones que tratan con la emisión, el flujo y el control de los electrones u otras partículas cargadas eléctricamente en el vacío y la materia. La identificación del electrón en 1897, junto con la invención del tubo de vacío, que podía amplificar y rectificar pequeñas señales eléctricas, inauguraron el campo de la electrónica y la edad del electrón.

# HISTORIA DE LA ELECTRONICA

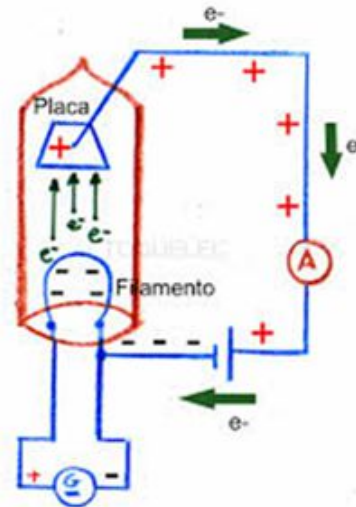
## Historia de la ELECTRONICA

Los primeros cimientos de la electrónica se formaron a través de los trabajos sobre la emisión termoiónica de Thomas Alva Edison en 1883. Como resultado, Edison logró crear una especie de corriente que sirvió como base para la invención del diodo. Este tubo al vacío, realizado por John Fleming en 1904, fue el primer avance hacia las válvulas eléctricas.

En 1906, el estadounidense Lee De Forest dio vida al tríodo o válvula. Este dispositivo consistía en una válvula electrónica compuesta por un cátodo, un ánodo y una rejilla de control usada para variar la corriente eléctrica. El invento de Forest supuso un enorme desarrollo en la electrónica de diversas industrias como las telecomunicaciones.

## El Diodo de Vacío

- La válvula electrónica ó tubo de vacío es un dispositivo basado en la **propiedad de algunos metales u óxidos de metal, de liberar electrones desde su superficie, cuando están sometidos a alta temperatura o en estado incandescente.**
- El fenómeno anterior denominado **“efecto Edison”** ó **“efecto termoiónico”**, es el que posibilita que en una ampolla de vidrio a la que se le ha hecho el vacío, se establezca una corriente eléctrica unidireccional entre un filamento incandescente (**efecto Joule**) por el que se hace pasar una corriente de caldeo (cátodo) y otro terminal (ánodo) **ite.**
- El cátodo puede ser **directamente** el filamento incandescente (wolframio, tungsteno,..) ó un cilindro eléctricamente aislado de aquél recubierto de óxido de bario (cátodo de caldeo indirecto).



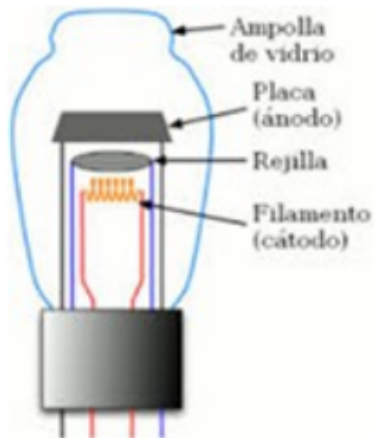
## EL TRIODO

Poco después que Fleming descubrió, que el efecto Edison podía emplearse para pasar de corriente alterna a continua, en 1906 Forest, un ingeniero de Yale, tuvo la ocurrencia de tomar un tubo electrónico dipolo como el creado por Fleming y añadir entre el filamento incandescente y la placa, un tercer elemento al que llamó rejilla; Sorprendido, descubrió que bastaba aplicar una pequeña carga a la rejilla para aumentar la potencia de la corriente que fluía desde el cátodo hasta el ánodo. Acababa de inventar el amplificador.

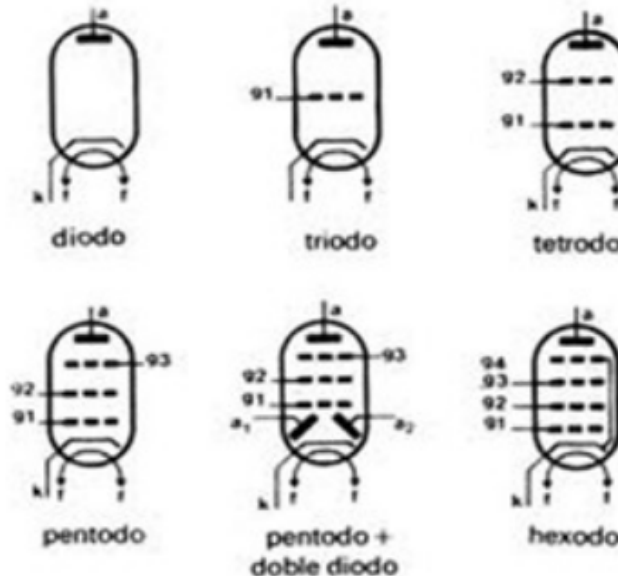
Aquello supuso una revolución porque el audión no solo servía para amplificar señales eléctricas, también podía amplificar transmisiones de audio, enviar y recibir ondas de radio. Hasta aquel momento, el uso de los aparatos de radio no habían experimentado un verdadero boom ya que las señales se desvanecían muy rápidamente con la distancia. Su triodo se convirtió en un componente revolucionario y fundamental en los nuevos sistemas de telefonía, y además permitió amplificar las señales de radio haciendo que, mediante estaciones repetidoras, una emisora pudiera radiar información a toda la nación.

## Tipos básicos de válvulas de vacío

- Al dispositivo compuesto únicamente por **dos terminales** ó placas (ánodo y cátodo), se denomina **DIODO** termoiónico ó de vacío.
- Si al dispositivo anterior le añadimos **elementos intermedios** (entre cátodo y ánodo), **polarizados positivamente**, denominados rejillas, el dispositivo resultante puede denominarse **TRIODO** (tres terminales), **TETRODO** (cuatro terminales), **PENTODO** (cinco terminales),.....



TRIODO



## El nacimiento del Transistor

En el año 1956 el premio Nobel de física fue compartido por tres grandes científicos: William Bradford Shockley, John Bardeen y Walter Houser Brattain por el que es considerado como el mayor desarrollo tecnológico del siglo XX: el transistor.

### **¿Por qué se construyeron los primeros transistores?**

La construcción de los primeros transistores respondía a una necesidad técnica: hacer llamadas telefónicas a larga distancia. Es por esto que los descubridores de esta nueva tecnología trabajaban para la *American Telephone and Telegraph Corporation (AT&T)*, fundada por Alexander Graham Bell y conocida inicialmente como la *Bell Telephone Company*.

Después que Forest inventara el triodo, AT&T rápidamente compró la patente y mejoró el tubo. Pero surgió un problema. Los tubos de vacío producían mucho calor, necesitaban mucha energía y debían ser reemplazados continuamente. Era necesario otro método para amplificar la señal. Buscando respuestas la compañía creó en 1926 un centro de investigación conocido como Laboratorios Telefónicos Bell (*Bell Labs*).



## El nacimiento del Transistor

Finalizada la Segunda Guerra Mundial el director del laboratorio Mervin Kelly buscó un grupo de científicos: Shockley, Bardeen y Brattain, para que dieran con la solución a los problemas que causaba el tubo de vacío y tenía algo en mente para reemplazarlo: los semiconductores. ¿Qué es un semiconductor? Un elemento que en determinadas condiciones puede conducir la electricidad (por ejemplo, a una temperatura alta), pero si cambiamos esas condiciones deja de permitir el paso de electrones. Los más importantes son el silicio (Si) y el germanio (Ge).

Bardeen y Brattain, el 16 de diciembre de 1947 lograron por fin hacer funcionar un amplificador empleando un transistor fabricado con germanio. En los primeros días de enero de 1948, presentaron una patente (US 2,524,035) para la fabricación del primer transistor de puntas de contacto de la historia, en la que no figuraba Shockley como autor.

Al analizar el dispositivo ideado por estos, Shockley intuyó que sería difícil de fabricar en grandes cantidades con suficiente fiabilidad, dado que era físicamente endeble. Así, Shockley concibió un transistor diferente al de puntas de contacto, denominado transistor de unión y presentó otra patente (US 2,569,347) el 23 de enero del año siguiente 1948, nueve días más tarde de la fecha en la que Bardeen y Brattain presentaron la suya.

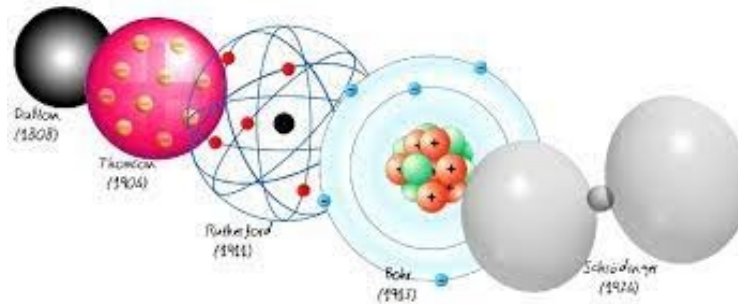
# SEMICONDUCTORES

## Conceptos Básicos

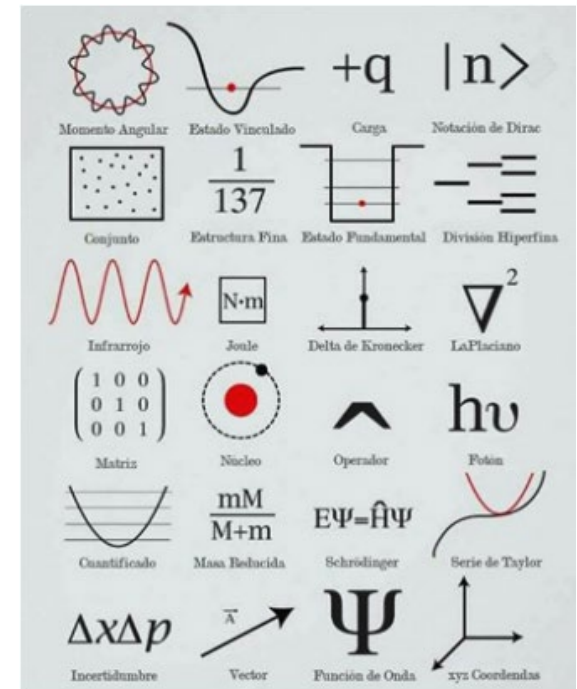
Con la teoría cinético molecular modelizamos el comportamiento de los cambios de estado de la materia.



Con el modelo atómico se explica los cambios químicos que tiene la materia.



Y con este modelo nace el estudio de los elementos o partículas que lo componen.

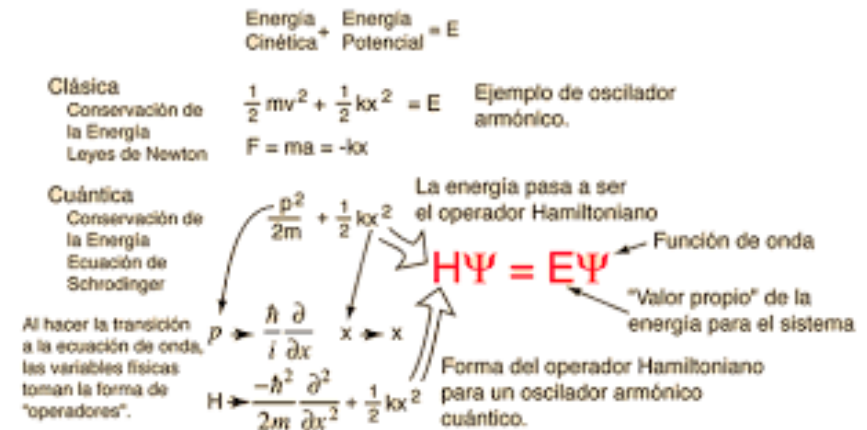


## Conceptos Básicos

La materia presenta características eléctricas, magnéticas y gravitatorias que determina el comportamiento de la misma. Las ecuaciones de maxwell terminaron por explicar los fenómenos electromagnéticos, y las ecuaciones de newton sentaron las bases de la mecánica clásica.

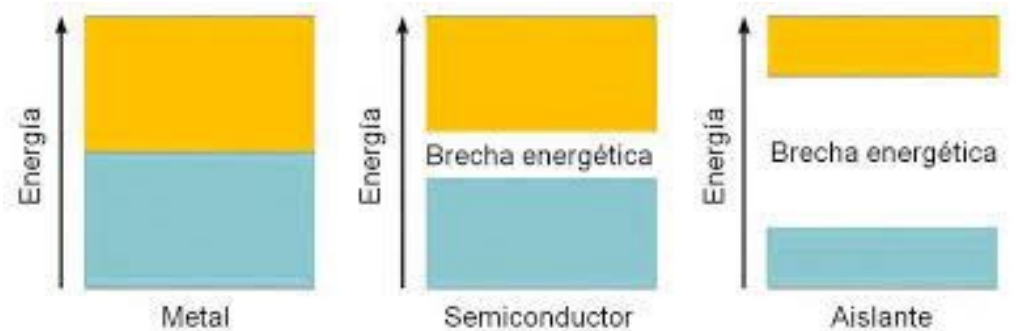
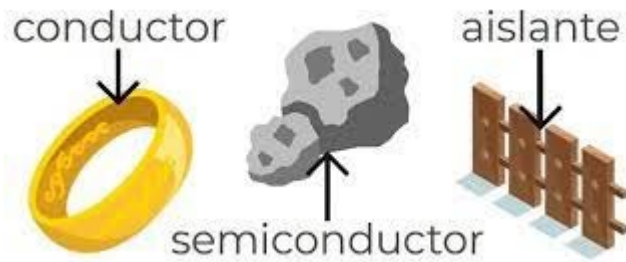
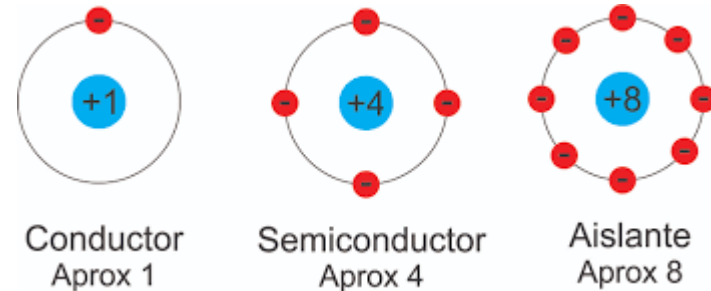
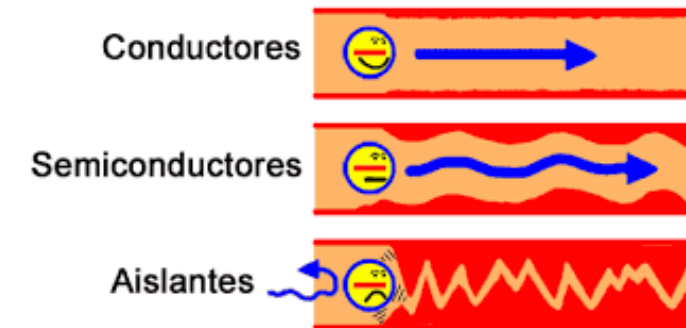
Pero a medida que las personas modelizaban la materia a escalas más pequeñas para explicar los fenómenos químicos, es decir los cambios en su composición, se dieron cuenta que la mecánica clasica no era el modelo adecuado. Y tuvieron que cambiar la perspectiva determinística a una probabilística. Así nace la mecánica cuántica.

$$\dot{\mathbf{p}} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{F}, \quad \begin{cases} \dot{p}_x = m \frac{dv_x}{dt} = F_x \\ \dot{p}_y = m \frac{dv_y}{dt} = F_y \\ \dot{p}_z = m \frac{dv_z}{dt} = F_z \end{cases}$$



## Conceptos Básicos

Desde el punto de vista del flujo de los electrones, los materiales se pueden clasificar en conductores y no conductores. Aunque también existen materiales que se encuentran entre estos dos. Los semiconductores.



## Semiconductores: Bandas de conducción

Los conductores son los metales, que tienen superpuesta la banda de conducción y la de valencia. Los semiconductores son aquellos que conducen en determinadas condiciones. Los aislantes no conducen la electricidad, ya que las bandas de conducción y valencia tienen una energía muy elevada

La mayoría de los sistemas electrónicos se basan en **dispositivos semiconductores**

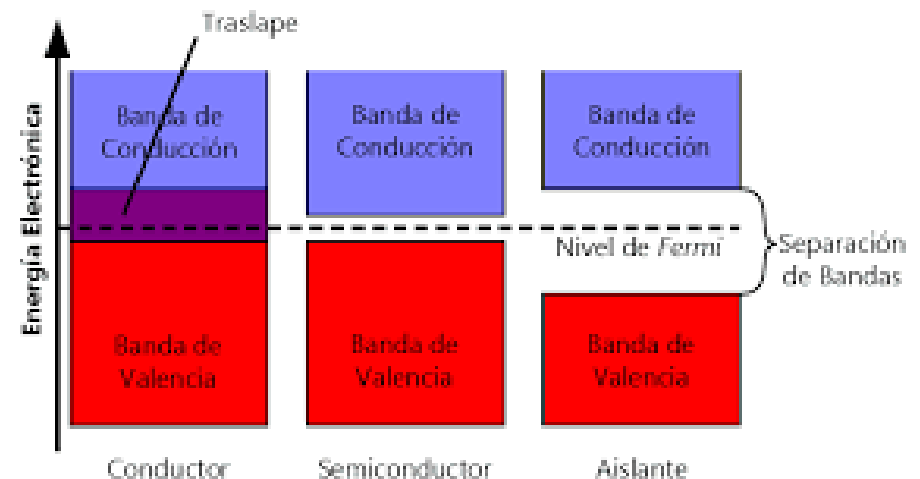
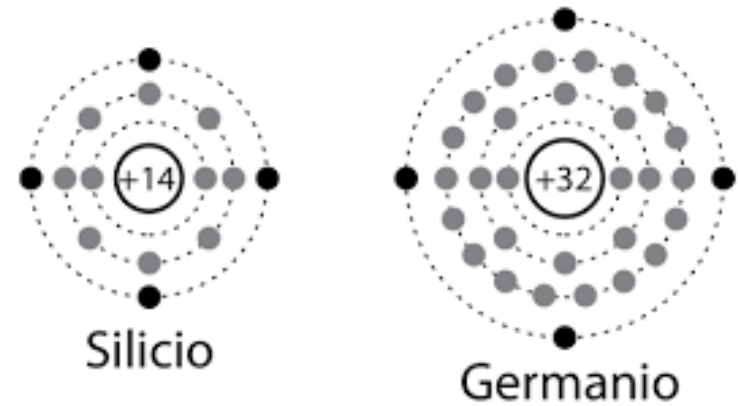
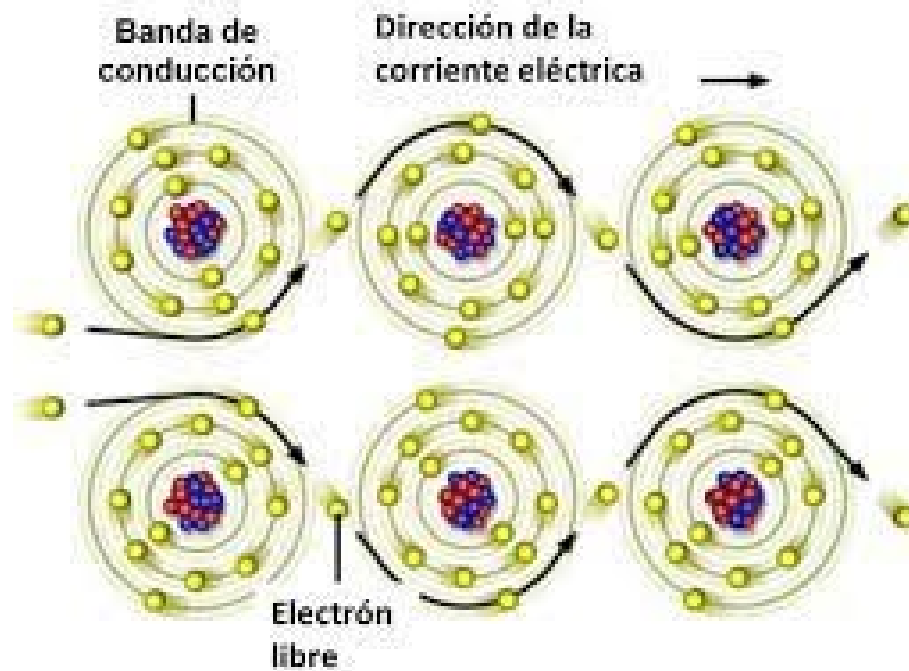
**Resistencia:  $R = \rho L / S$**

Materiales sólidos:

- **Conductores:**  $10^{-4} < \rho < 10^{-2} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ 
  - Tienen una nube de electrones libres (electrones de valencia)
- **Aislantes:**  $\rho > 10^4 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ 
  - Electrones de valencia ligados firmemente al núcleo de los átomos
- **Semiconductores:**  $10^{-4} < \rho < 10^4 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ 
  - A muy bajas temperaturas aislante. A temperaturas normales = conductor pobre

En electrónica sólo importa el orbital exterior: **orbital de valencia**

## Semiconductores: Bandas de conducción





## Semiconductores: El silicio

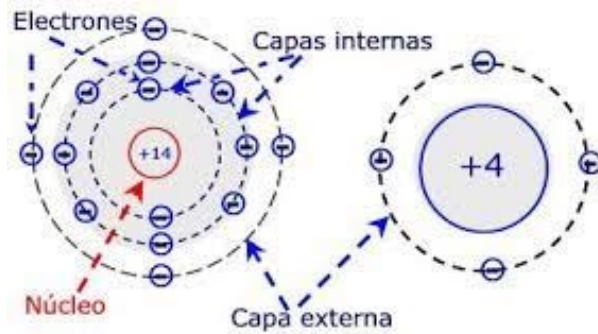
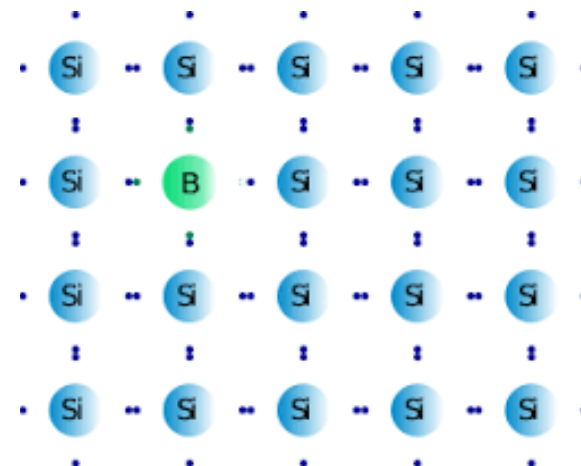
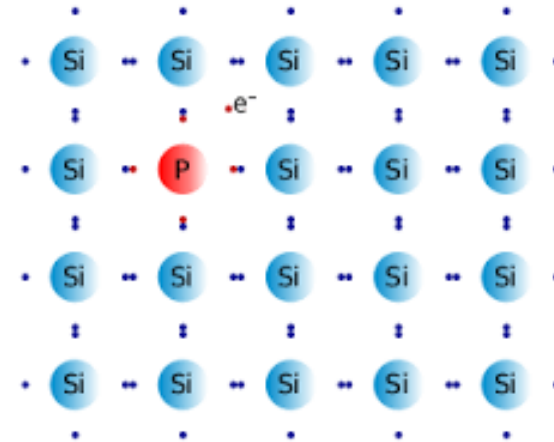
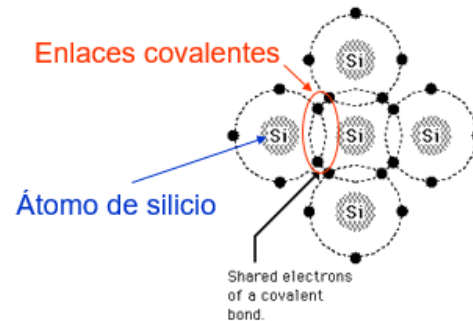
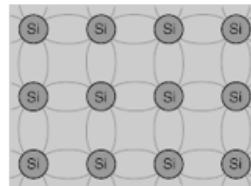
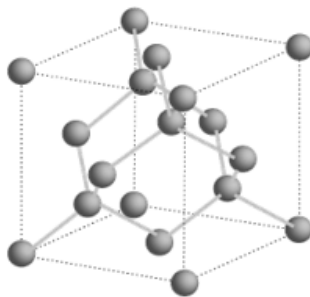


Figura 1

Figura 2

- Estructura cristalina





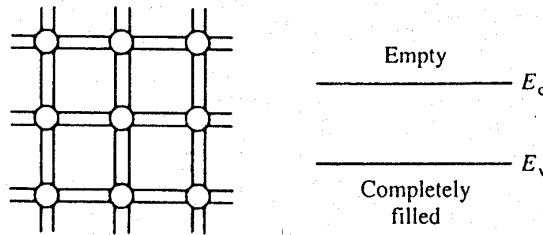
## Semiconductores: El silicio

### Portadores

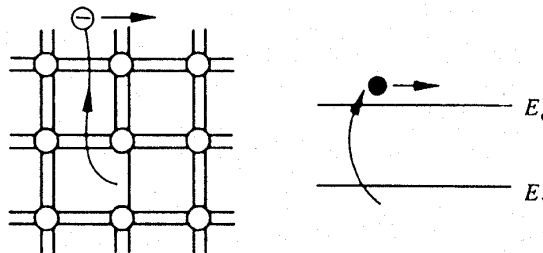
Cuando un enlace de Si-Si es roto, el electrón asociado es un portador de corriente.

Equivalentemente, la excitación de un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción crea portadores ->

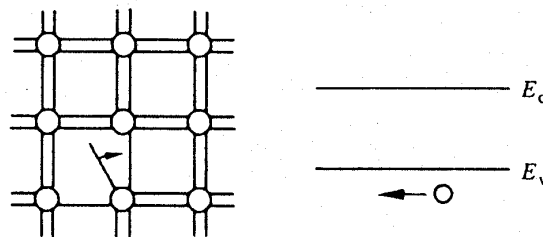
**Electrones en la banda de conducción son portadores**



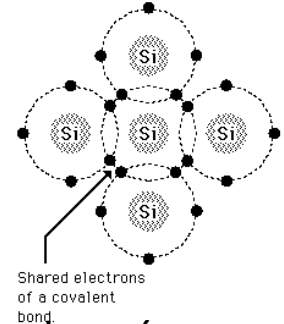
**Sin portadores**



**electrón**



**laguna**

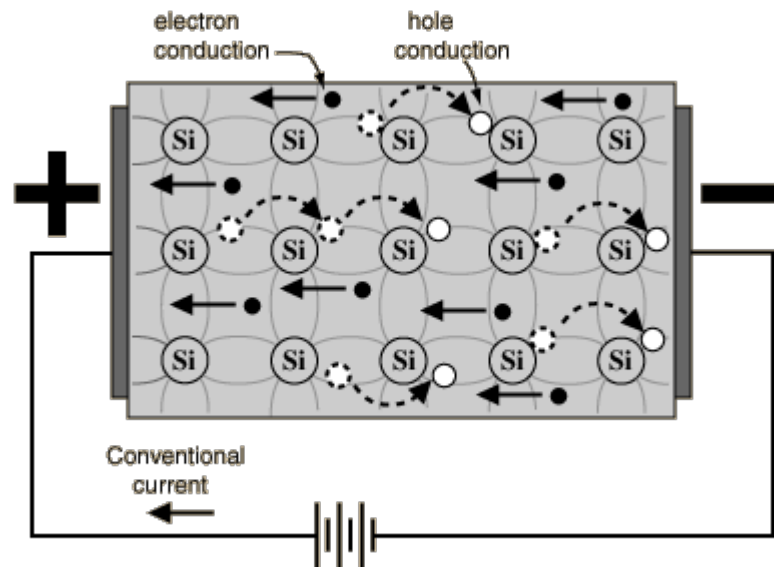


Remover un electrón de la banda de valencia crea un estado vacío.

Este estado vacío, es un segundo tipo de portadores denominado **lagunas**

## Semiconductores: El silicio

Circulación de corriente en un semiconductor

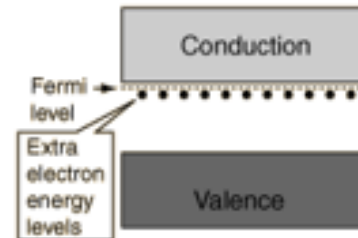
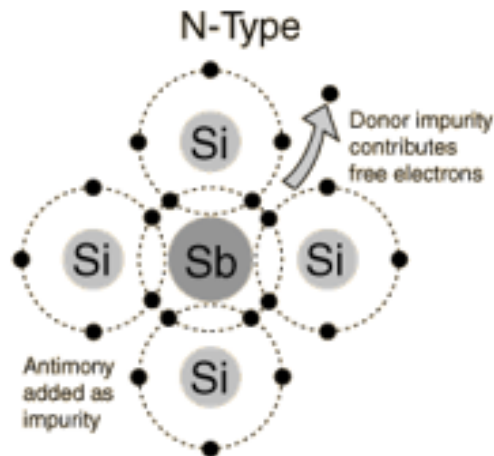


## Semiconductores: El silicio extrínseco

- El agregado de un pequeño porcentaje de átomos foráneos en la estructura cristalina del silicio produce importantes cambios en sus propiedades eléctricas.
  - Material tipo N: Dopantes con valencia +5 son utilizados.
  - 4 electrones de la banda de valencia forman enlaces covalentes con los átomos vecinos de silicio. El electrón restante está débilmente ligado al átomo de impureza, actuando como un electrón libre.
  - Impurezas donoras: donan un electrón a la banda de conducción.
  - Fósforo, arsénico, antimonio

## Semiconductores: El silicio extrínseco

### Silicio – Tipo N



Conductividad

$$\sigma_n \cong N_D q \mu_n$$

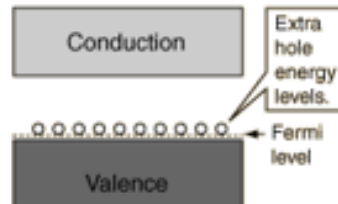
$$n = N_D + p \cong N_D$$

Concentración de átomos donores

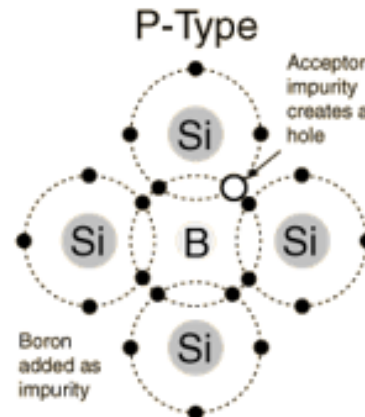
## Semiconductores: El silicio extrínseco

### Silicio – Tipo P

- TIPO P
  - Dopantes con valencia +3 son empleados: Boro, Galio, Indio.
  - Para completar el enlace covalente con átomos de silicio, un electrón es atraído de la banda de valencia dejando una laguna.
  - impureza aceptora: acepta un electrón de la banda de valencia

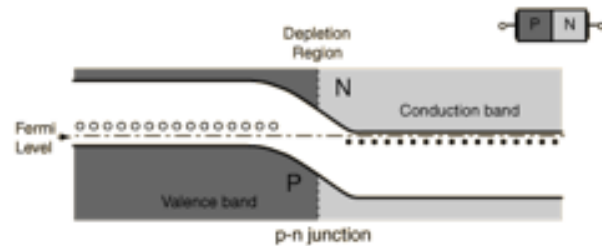


$$p = N_A + n \approx N_A$$

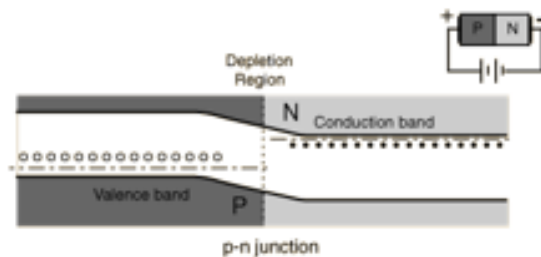


## Semiconductores: El diodo de juntura

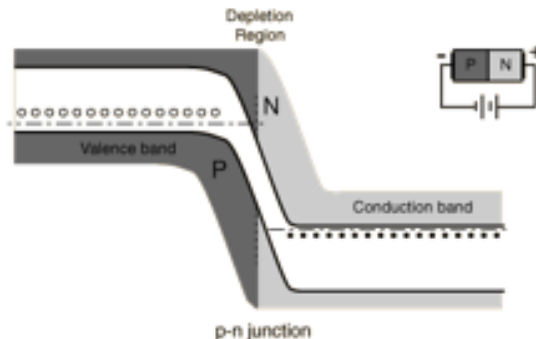
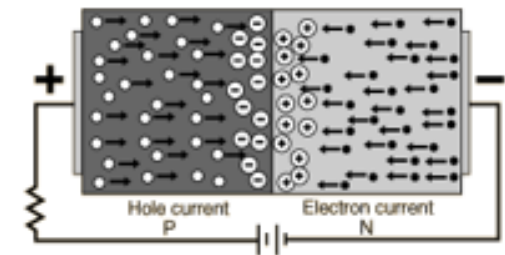
### Juntura PN



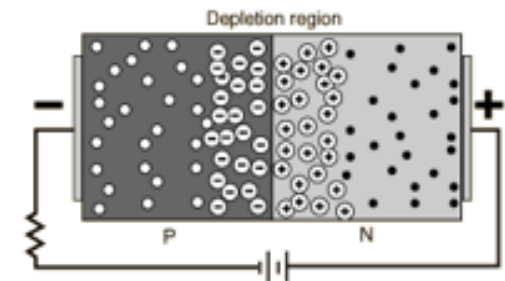
EQUILIBRIO



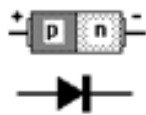
Polarización directa



Polarización inversa



## El diodo



- La corriente de lagunas y la corriente de electrones son asumidas como corrientes de difusión.

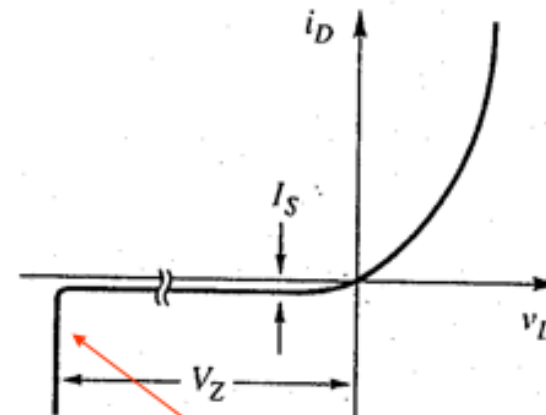
$$i_D = A_j \left( qD_n \frac{dn}{dx} - qD_p \frac{dp}{dx} \right),$$

$$\frac{dn}{dx} = \frac{n_{po}}{L_n} (e^{qv_D/kT} - 1) = \frac{n_{po}}{L_n} (e^{v_D/V_T} - 1),$$

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{p_{no}}{L_p} (e^{v_D/V_T} - 1).$$

$$i_D = A_j q \left( \frac{D_n n_{po}}{L_n} + \frac{D_p p_{no}}{L_p} \right) (e^{v_D/V_T} - 1) \\ = I_S (e^{v_D/V_T} - 1).$$

Corriente de saturación inversa : es función del área de juntura, de las constantes de difusión, concentración de equilibrio y longitud de difusión de los portadores minoritarios



Tensión de ruptura inversa

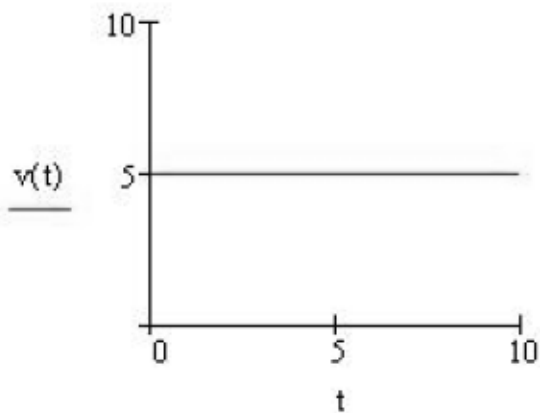
# DISPOSITIVOS ELECTRONICOS



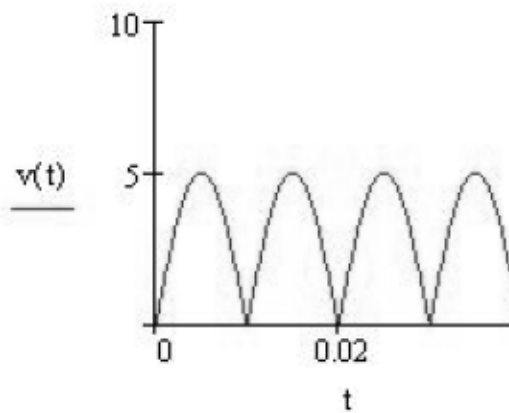
## Conceptos Previos

### Corriente Continua (CC)

Se dice que la corriente o tensión eléctrica es continua si *no cambia* de sentido o bien no cambia de signo. Estas magnitudes podrán ser *constantes*, si mantienen su valor en todo instante de tiempo, o *pulsantes*, si su valor es variable.



Tensión continua constante



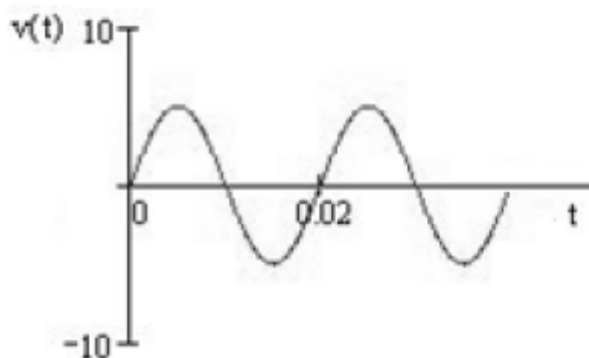
Tensión continua pulsante

## Conceptos Previos

### Corriente Alterna (CA)

Se dice que la corriente o tensión eléctrica es alterna si *cambia* de sentido o bien de signo. Los circuitos de **CA** se usan en la distribución de energía eléctrica, en la radio, en la televisión, y en otros dispositivos de comunicación, así como en una amplia variedad de motores eléctricos.

Por lo general se trabaja con corrientes que varían de forma senoidal con el tiempo, alternando periódicamente de una dirección a otra. Los parámetros que caracterizan a dichas señales son: la *amplitud*, el *período* (T) y la *frecuencia* (f).



Tensión alterna periódica:

$$f = \frac{1}{T} \quad \omega = 2\pi f$$

$$T = 0.02 \text{ s} \quad f = 50 \text{ Hz} \quad \omega = 314.15 \text{ rad/s}$$

## Conceptos Previos

### Ley de ohm y de watt

**Volts**

$$\text{Volts} = \sqrt{\text{Watts} \times \text{Ohms}}$$

$$\text{Volts} = \frac{\text{Watts}}{\text{Amperes}}$$

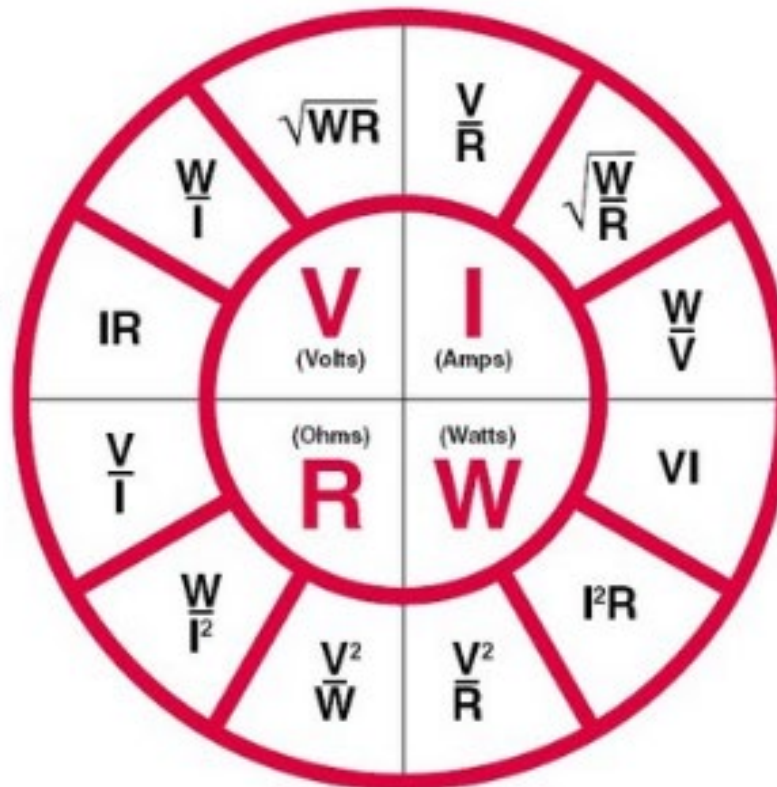
$$\text{Volts} = \text{Amperes} \times \text{Ohms}$$

**Ohms**

$$\text{Ohms} = \frac{\text{Volts}}{\text{Amperes}}$$

$$\text{Ohms} = \frac{\text{Volts}^2}{\text{Watts}}$$

$$\text{Ohms} = \frac{\text{Watts}}{\text{Amperes}^2}$$



**Amperes**

$$\text{Amperes} = \frac{\text{Volts}}{\text{Ohms}}$$

$$\text{Amperes} = \frac{\text{Watts}}{\text{Volts}}$$

$$\text{Amperes} = \sqrt{\frac{\text{Watts}}{\text{Ohms}}}$$

**Watts**

$$\text{Watts} = \frac{\text{Volts}^2}{\text{Ohms}}$$

$$\text{Watts} = \text{Amperes}^2 \times \text{Ohms}$$

$$\text{Watts} = \text{Volts} \times \text{Amperes}$$

## Conceptos Previos

### 1ª Ley de Kirchhoff o ley de mallas

A lo largo de una malla, la suma de fuerzas electromotrices es igual a la suma de las diferencias de potencial producidas en las resistencias.

- Una elevación de voltaje se toma como positivo
- Una caída de tensión se toma como negativa

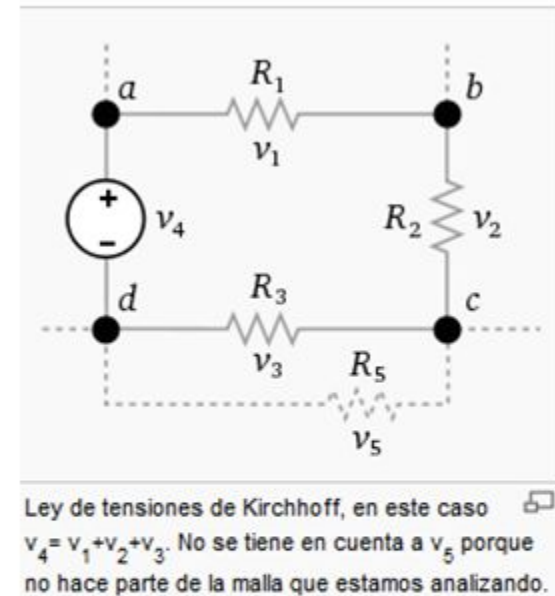
En una resistencia la corriente siempre fluye del potencial más alto al más bajo.

Al seguir el camino de la corriente a través de una resistencia, el cambio de potencial es negativo ya que hay una caída de potencial.

La terminal de una FEM pura siempre es la terminal de potencial más alto, independientemente de la dirección de la corriente que pasa a través de la fuente de FEM.

Obsérvese que esta ley no es sino la ley de Ohm generalizada.

$$\sum V = \sum (I \cdot R)$$



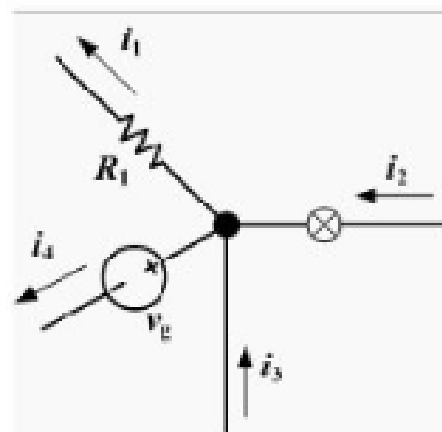
$$\sum_{k=1}^n V_k = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = 0$$

## Conceptos Previos

### 2ª Ley de Kirchhoff o ley de nudos

En un nudo, la suma de las corrientes que entran es igual a las que salen; o bien, la suma algebraica de corrientes en un nudo es nula.

$$\Sigma I \text{ entran} = \Sigma I \text{ salen}$$



La corriente que pasa por un nudo es igual a la corriente que sale del mismo.  $i_1 + i_4 = i_2 + i_3$

De forma equivalente, la suma de todas las corrientes que pasan por el nudo es igual a cero

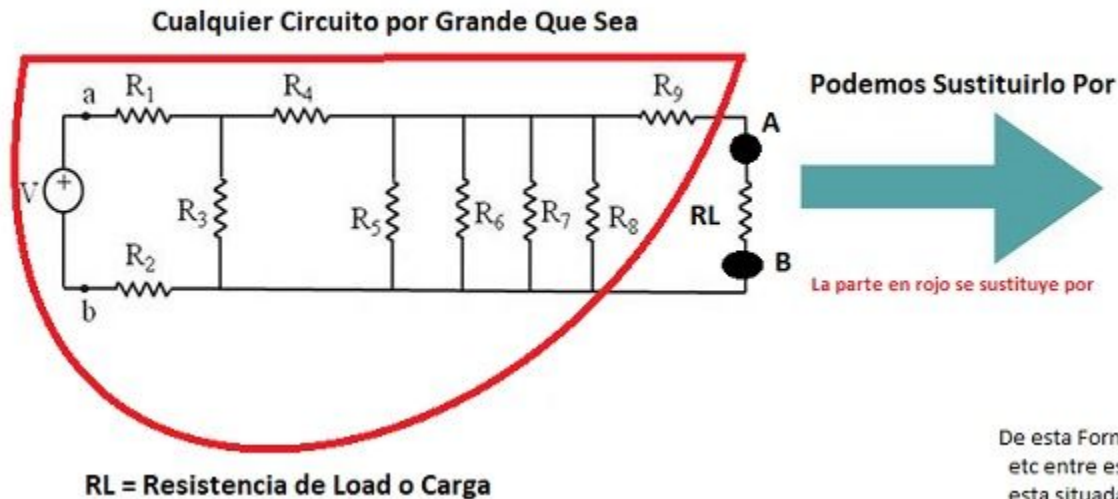
$$\sum_{k=1}^n I_k = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0$$

## Conceptos Previos

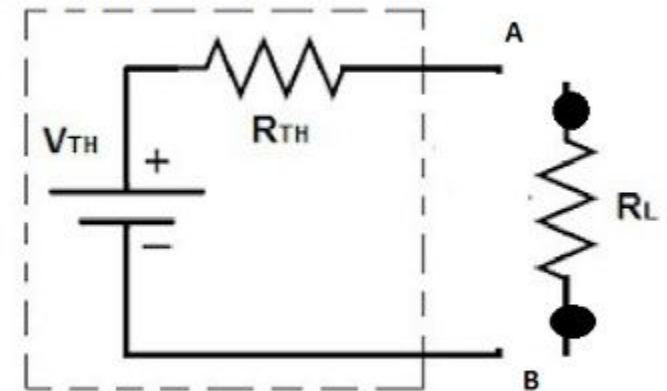
### TEOREMA DE THEVENIN

**R<sub>th</sub>**: Tenemos que dejar las fuentes de tensión del circuito inicial en cortocircuito y las fuentes de corriente en circuito abierto.

**V<sub>th</sub>**: Tenemos que averiguar la tensión entre los puntos A y B, desconectando R<sub>L</sub> del circuito original



Un Circuito Equivalente con una Resistencia y Tensión de Thevenin

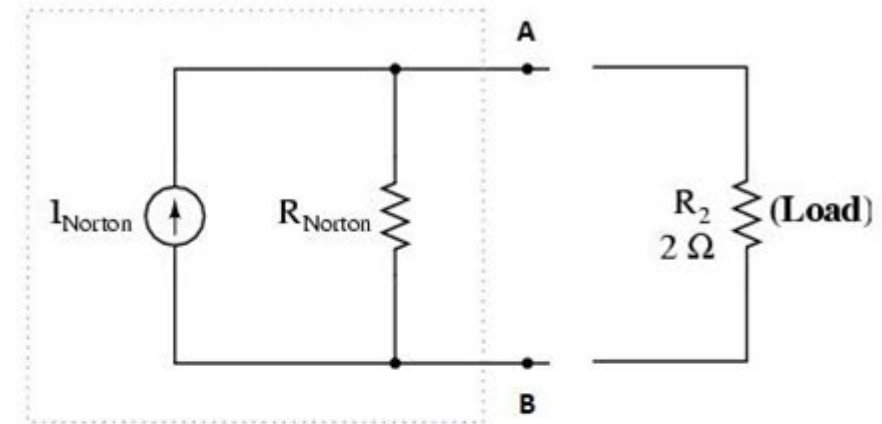
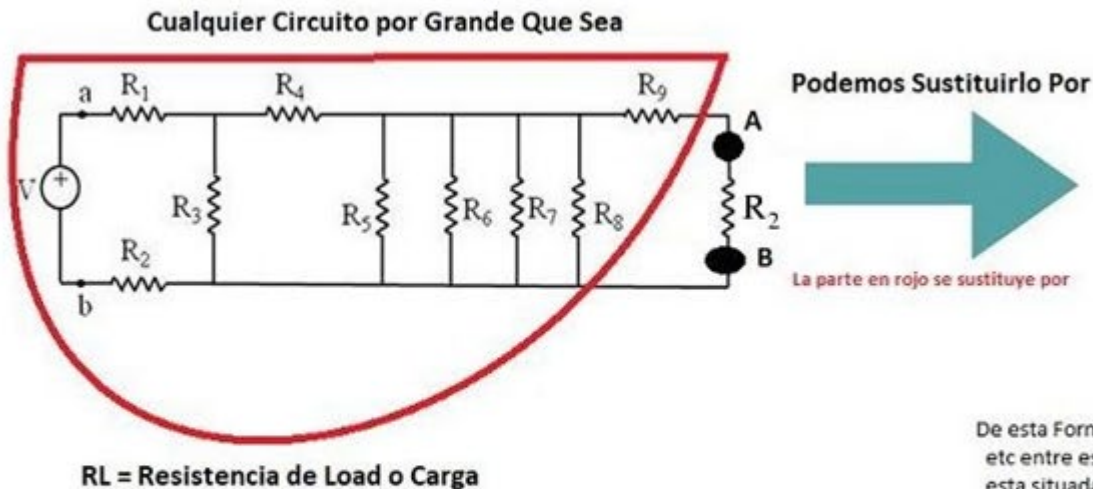


De esta Forma Podremos calcular la Intensidad, Tensión, Resistencia, Potencia, etc entre esos dos puntos del circuito anterior el A y B donde normalmente esta situada la Resistencia de Carga o la Resistencia que queremos calcular.



## Conceptos Previos

### TEOREMA DE NORTON



De esta Forma Podremos calcular la Intensidad, Tensión, Resistencia, Potencia, etc entre esos dos puntos del circuito anterior el A y B donde normalmente esta situada la Resistencia de Carga o la Resistencia que queremos calcular.

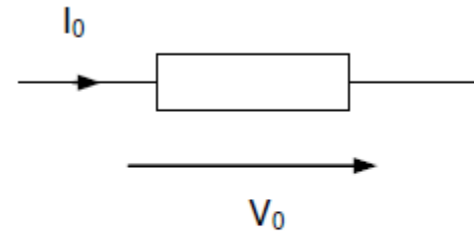
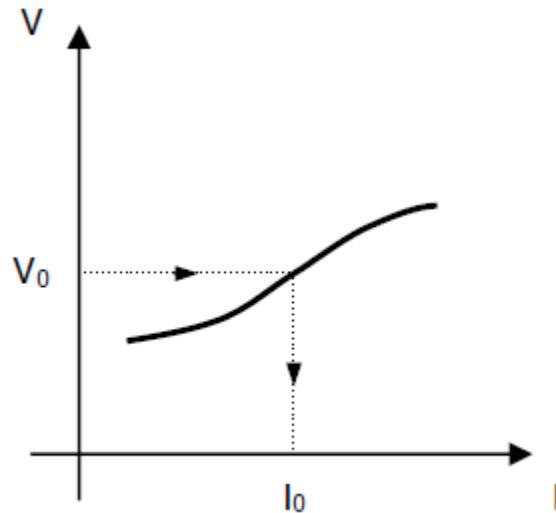
- Resistencia de Norton  $R_N$  = Resistencia de Thevenin
- Intensidad de Norton  $I_N$  = Tensión de Thevenin / Resistencia de Thevenin =  $V_{TH} / R_{TH}$

## Conceptos Previos

### Característica V - A

Se llama así a la representación gráfica de la tensión en función de la corriente:

$V = f(I)$ , o viceversa. La misma podrá obtenerse analítica o experimentalmente, dependiendo del caso. Describe el funcionamiento y características de un dipolo.

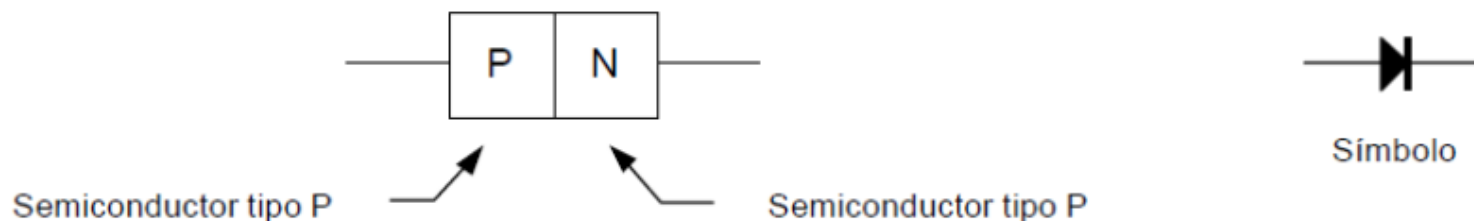




## Circuitos Electrónicos: El diodo

### Características generales

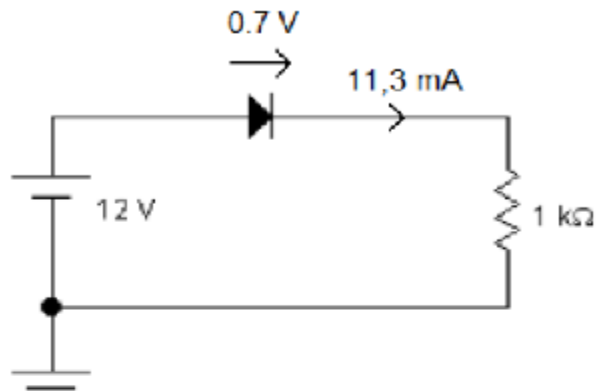
La siguiente figura muestra el símbolo eléctrico de un diodo. El lado  $p$  se llama ánodo y el lado  $n$  es el cátodo. El símbolo del diodo es una flecha que apunta del lado  $p$  al lado  $n$ , del ánodo al cátodo. Por ello, la flecha del diodo recuerda que la corriente convencional circula del lado  $p$  al lado  $n$ . Si se trabaja con el flujo de electrones, hay que tener en cuenta que éstos fluyen en dirección opuesta a la de la flecha del diodo.



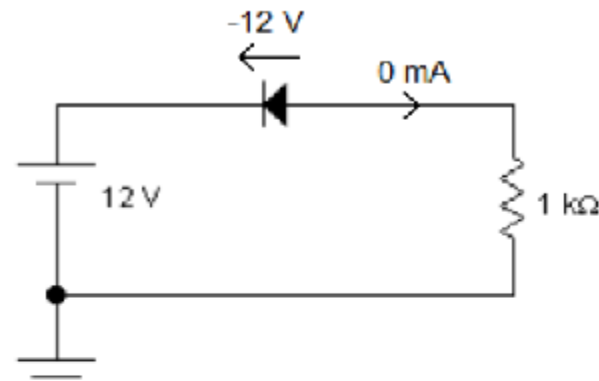
La característica principal del diodo es la de permitir la circulación de corriente en un sentido (directo) e impedirla en sentido contrario (inverso). La tensión para la cual un diodo comienza a conducir se llama *tensión umbral*. Dicha tensión puede aproximarse a un valor de 0,7 V en un diodo de silicio.

## Circuitos Electrónicos: El diodo

Diodo polarizado en sentido directo

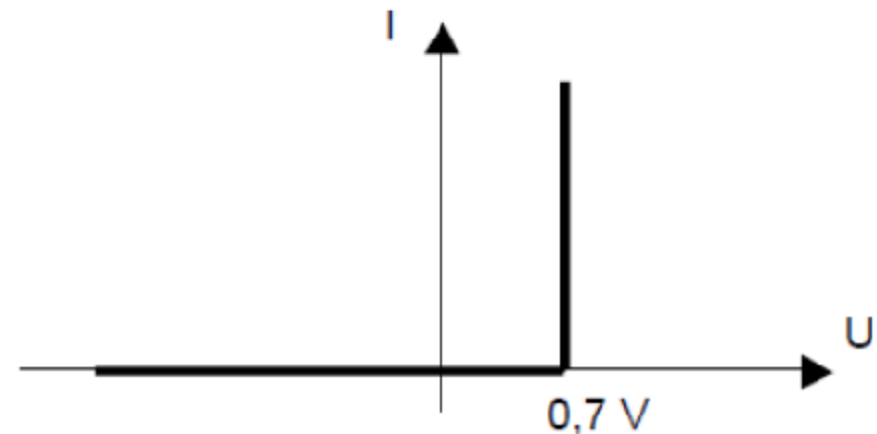


Diodo polarizado en sentido inverso



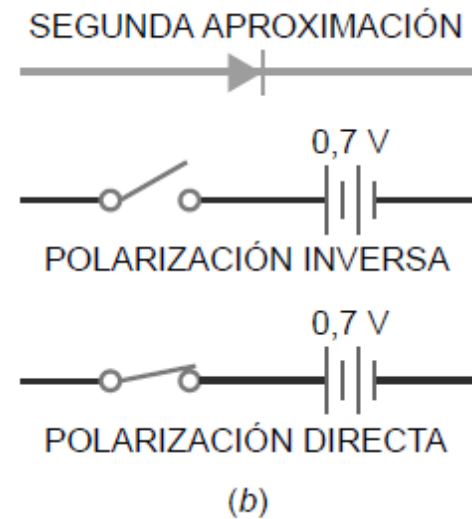
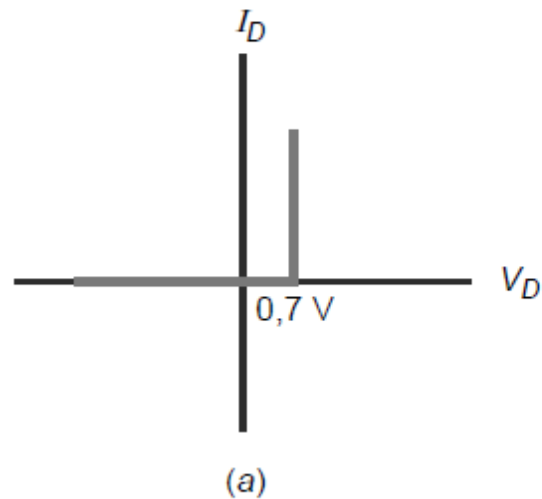
### Característica V-A

La gráfica de la derecha muestra la característica V-A de un diodo ideal. El dibujo indica que no hay corriente hasta que aparecen 0,7 V en el diodo. En este punto, el diodo comienza a conducir. De ahí en adelante sólo caerán 0,7 V en el diodo, *independientemente* del valor de la corriente.



## Circuitos Electrónicos: El diodo

### Modelo: 2da Aproximación



Por otro lado, cuando la tensión Thevenin es menor que  $0,7\text{ V}$ , el interruptor se abre. En este caso, no circulará corriente a través del diodo.

## Circuitos Electrónicos: El diodo

---

### Ejemplo

Un diodo tiene una potencia máxima de 5 W. Si la tensión del diodo es de 1,2 V y su corriente es de 1,75 A. ¿Cuál es la disipación de potencia? ¿Se destruirá el diodo?

### SOLUCIÓN

$$P_D = (1,2 \text{ V})(1,75 \text{ A}) = 2,1 \text{ W}$$

Es menor que la potencia máxima, por tanto, el diodo no se destruirá.

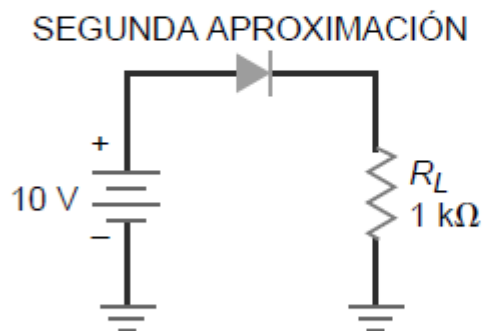
### PROBLEMA PRÁCTICO

Continuando con el Ejemplo 3.2, ¿cuál será la disipación de potencia si la tensión en el diodo es de 1,1 V y la corriente es de 2 A?

### Ejemplo

Utilice la segunda aproximación para calcular la tensión en la carga, la corriente en la carga y la potencia del diodo en el circuito de la Figura .

Figura



**SOLUCIÓN** Puesto que el diodo está polarizado en directa, es equivalente a una batería de 0,7 V. Esto significa que la tensión en la carga es igual a la tensión de fuente menos la caída de tensión en el diodo:

$$V_L = 10 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 9,3 \text{ V}$$

Aplicando la ley de Ohm, obtenemos la corriente en la carga:

$$I_L = \frac{9,3 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 9,3 \text{ mA}$$

La potencia del diodo es:

$$P_D = (0,7 \text{ V})(9,3 \text{ mA}) = 6,51 \text{ mW}$$

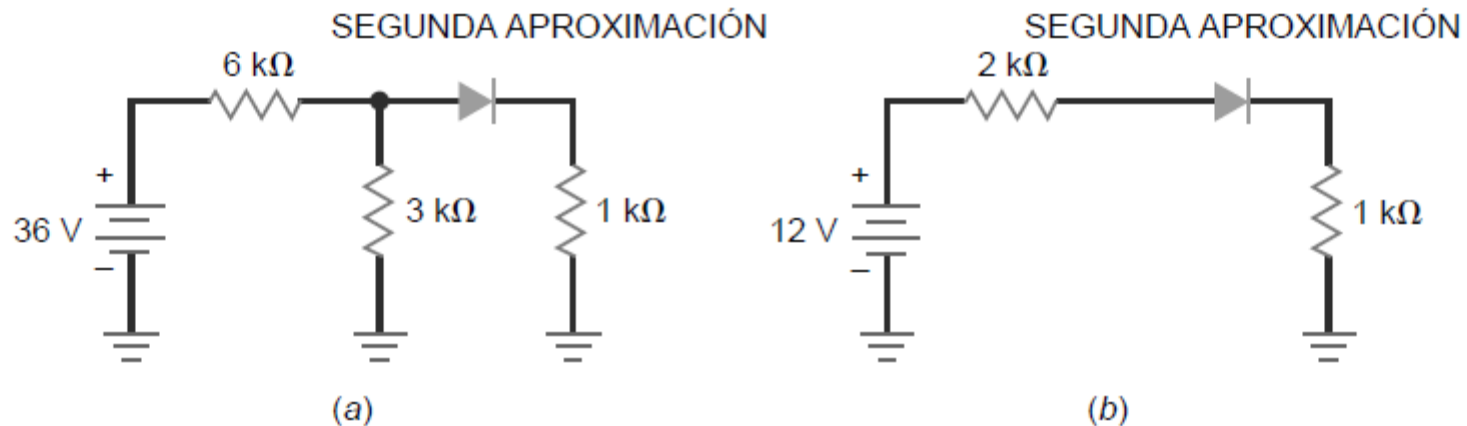
### PROBLEMA PRÁCTICO

En el circuito de la Figura , cambie la tensión de la fuente a 5 V y calcule la nueva tensión en la carga y la potencia del diodo.

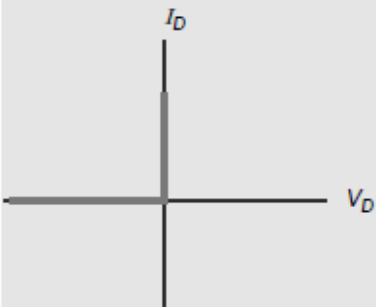
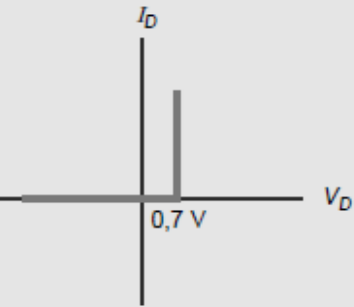
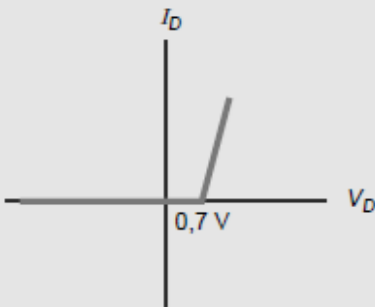

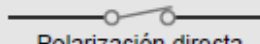
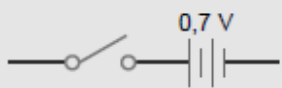
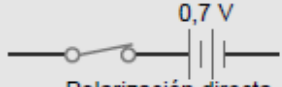
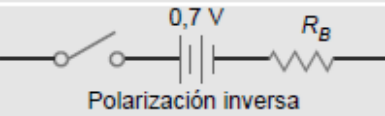
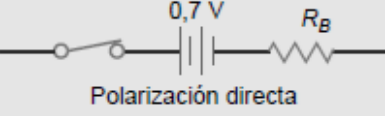
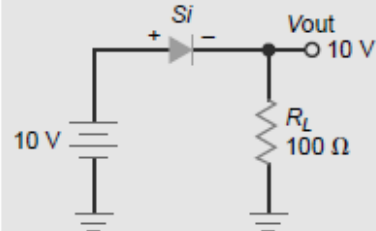
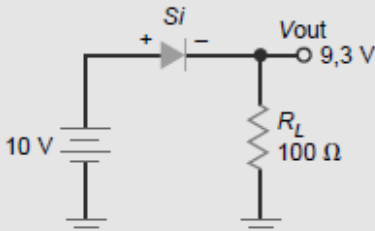
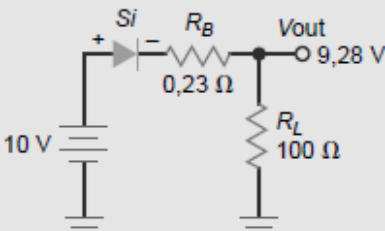
### Ejemplo

Calcule la tensión en la carga, la corriente en la carga y la potencia del diodo en el circuito de la Figura (a) utilizando la segunda aproximación.

**Figura** (a) Circuito original. (b) Circuito simplificado utilizando el teorema de Thevenin.



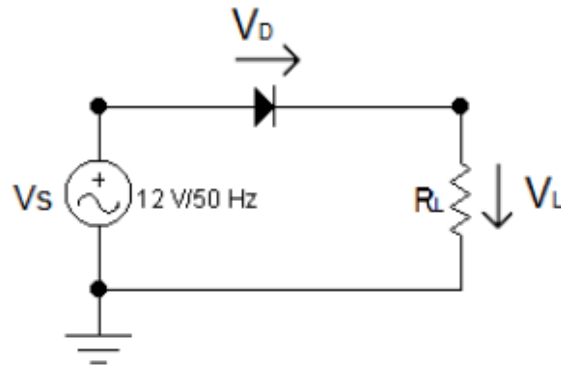
## Circuitos Electrónicos: El diodo

	Primera o ideal	Segunda o práctica	Tercera
Se usa en	Detección de averías o análisis rápidos	Análisis de nivel técnico	Análisis de alto nivel o de nivel de ingeniería
Curva del diodo			
Circuito equivalente	 Polarización inversa  Polarización directa	 Polarización inversa  Polarización directa	 Polarización inversa  Polarización directa
Ejemplo de circuito			

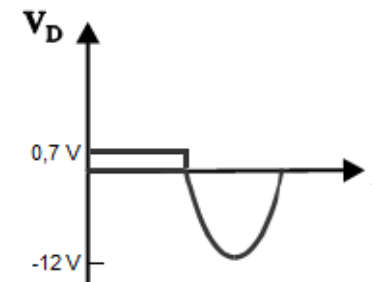
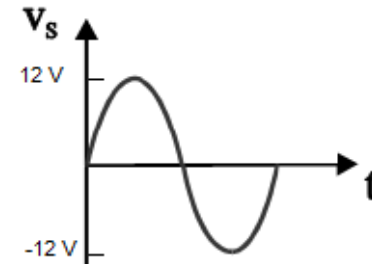
## Circuitos Electrónicos: El diodo, Aplicaciones

### Rectificador media onda

El circuito más simple que puede convertir corriente alterna en corriente continua es el rectificador de *media onda*, que se muestra a continuación.



**Ciclo positivo:** El diodo conduce y la tensión en la carga  $V_L$  es  $V_S - V_D$ . El valor de la corriente es  $I_L = V_L / R_L$ .  
**Ciclo negativo:** El diodo se polariza en inversa y no conduce. La corriente  $I_L$  es cero y por lo tanto la tensión en la carga  $V_L$  es cero. La tensión de entrada  $V_S$  se ve reflejada en bornes del diodo  $V_D$ .

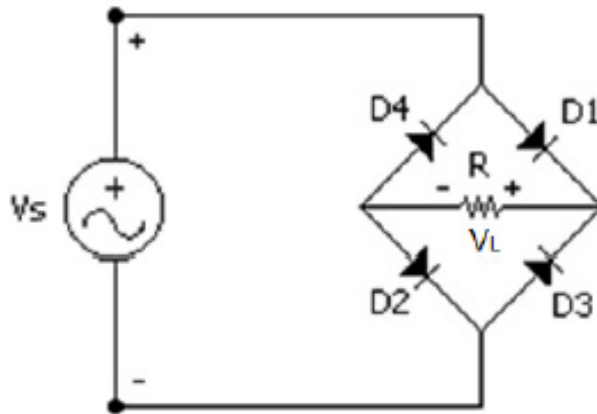




## Circuitos Electrónicos: El diodo, Aplicaciones

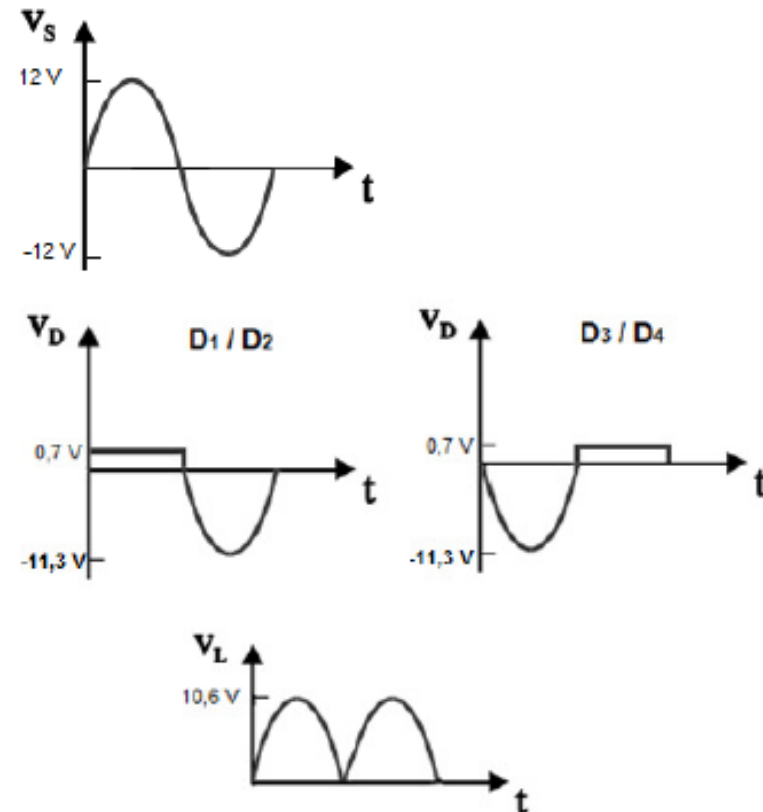
### Rectificador de onda completa - Tipo puente

En la figura de abajo se muestra la configuración de un *punteo rectificador*. Mediante el uso de 4 diodos, en lugar de dos, este diseño tiene la ventaja de aprovechar los dos ciclos de la onda de entrada; tanto el positivo como el negativo.



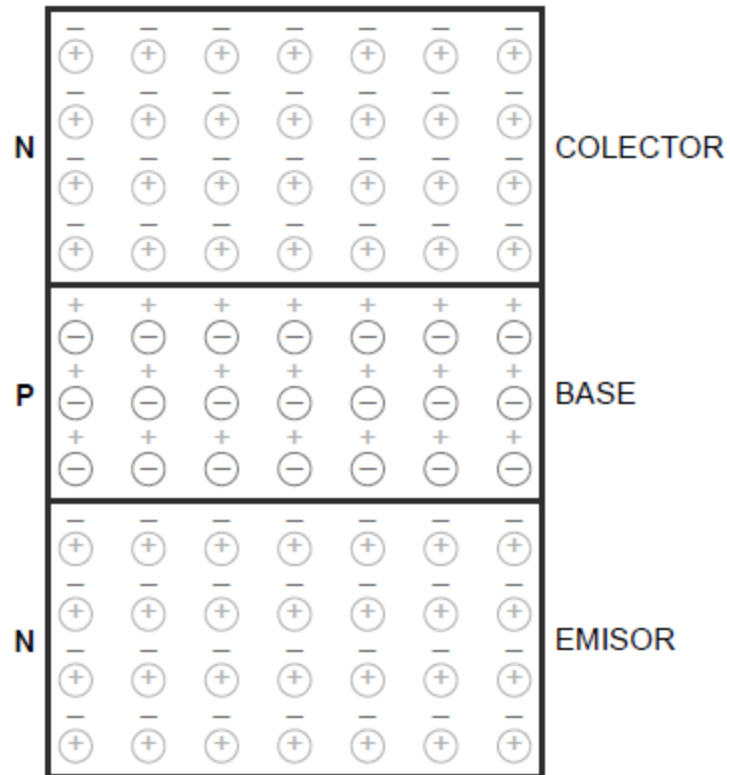
**Ciclo positivo:** Conducen los diodos  $D_1$  y  $D_2$ . La tensión en la carga  $V_L$  es  $V_S - 2V_D$ . El valor de la corriente es  $I_L = V_L / R_L$ .

**Ciclo negativo:** Conducen los diodos  $D_3$  y  $D_4$ . En este caso, la corriente  $I_L$  mantiene el mismo sentido que en el ciclo anterior, es por eso que la tensión en la carga  $V_L$  se mantiene positiva.



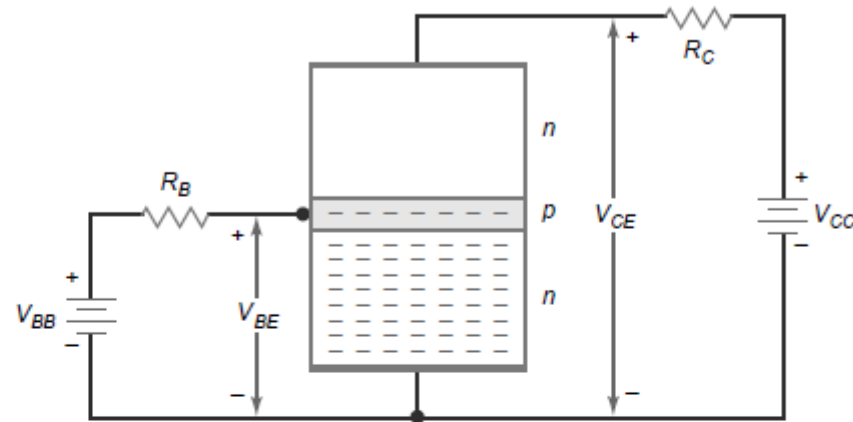
## Circuitos Electrónicos: El transistor

Estructura de un transistor.

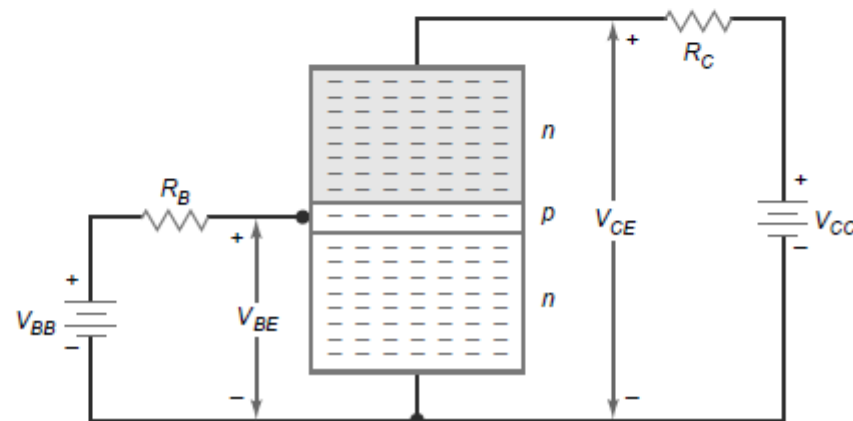


## Circuitos Electrónicos: El transistor

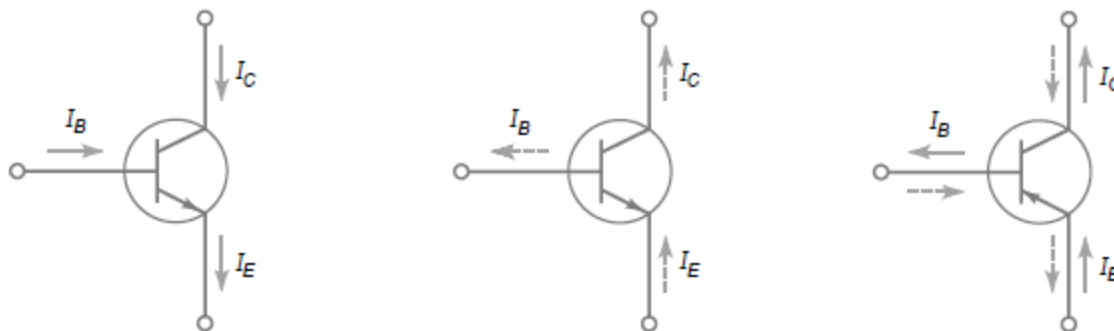
El emisor inyecta electrones libres en la base.



Los electrones libres de la base fluyen y entran en el colector.



## Circuitos Electrónicos: El transistor



### Relación de corrientes

Recordemos la ley de Kirchhoff: la suma de todas las corrientes que entran en un punto o unión es igual a la suma de todas las corrientes que salen del punto o unión. Cuando se aplica a un transistor, la ley de las corrientes de Kirchhoff proporciona esta importante relación:

$$I_E = I_C + I_B$$

Esto quiere decir que la corriente de emisor es igual a la suma de la corriente de colector y la corriente de base. Puesto que la corriente de base es muy pequeña, la corriente de colector es aproximadamente igual a la corriente de emisor:

$$I_C \approx I_E$$

y la corriente de base es mucho menor que la corriente de colector:

$$I_B \ll I_C$$

(Nota:  $\ll$  significa mucho menor que.)

La Figura muestra el símbolo esquemático de un transistor *pnp* y sus corrientes. Observe que la dirección de las corrientes es la opuesta a la del transistor *npn*. Fíjese en que la Ecuación sigue siendo cierta para las corrientes del transistor *pnp*.

## Circuitos Electrónicos: El transistor

### Beta

La **beta de continua** (simbolizada por  $\beta_{dc}$ ) de un transistor se define como la relación de la corriente continua de colector y la corriente continua de base:

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$$

La beta de continua también se conoce como **ganancia de corriente** porque una corriente de base pequeña controla a una corriente de colector mucho más grande.

La ganancia de corriente es una importante ventaja de un transistor y ha llevado a todo tipo de aplicaciones. En los transistores de baja potencia (menos de 1 W), la ganancia de corriente normalmente está comprendida entre 100 y 300. Los transistores de alta potencia (por encima de 1 W) tienen usualmente ganancias de corriente comprendidas entre 20 y 100.

La Ecuación puede reordenarse para obtener dos formas equivalentes. La primera es, cuando se conoce el valor de  $\beta_{dc}$  e  $I_B$ , se puede calcular la corriente de colector como sigue:

$$I_C = \beta_{dc} I_B$$

Segundo, cuando se tiene el valor de  $\beta_{dc}$  e  $I_C$ , se puede calcular la corriente de base como sigue:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_{dc}}$$

## Circuitos Electrónicos: El transistor

### Subíndices simples

Los subíndices simples se emplean para designar las tensiones de nodo; es decir tensiones entre el punto especificado por el subíndice y tierra. Por ejemplo, si dibujamos de nuevo la Figura *a* con conexiones a tierra, obtenemos la Figura *b*. La tensión  $V_B$  es la tensión entre la base y tierra, la tensión  $V_C$  es la tensión entre el colector y tierra y  $V_E$  es la tensión entre el emisor y tierra (en este circuito,  $V_E$  es cero).

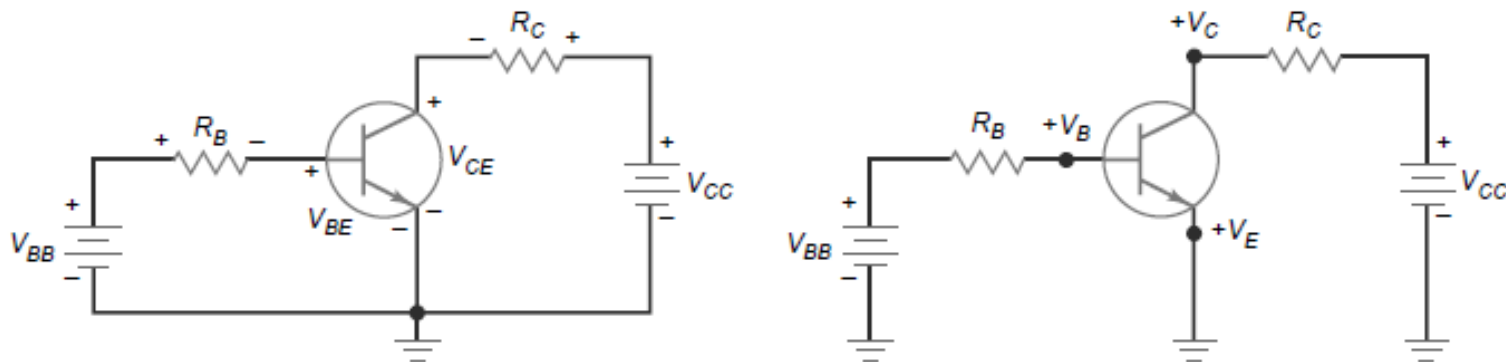
Podemos calcular una tensión con doble subíndice (siendo los subíndices diferentes) restando las tensiones de subíndice simple correspondientes. He aquí tres ejemplos:

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

$$V_{CB} = V_C - V_B$$

$$V_{BE} = V_B - V_E$$

**Figura** Conexión en emisor común. (a) Circuito básico. (b) Circuito con conexiones a tierra.



## Circuitos Electrónicos: El transistor

### Curva característica de entrada

¿A qué le recuerda la gráfica de  $I_B$  en función de  $V_{BE}$ ? Es parecida a la gráfica de un diodo ordinario, como la mostrada en la Figura a. ¿Y por qué no iba a ser así? Se trata de un diodo de emisor polarizado en directa, por lo que es lógico obtener la gráfica habitual del diodo de la corriente en función de la tensión. Esto implica que podemos utilizar cualquiera de las aproximaciones del diodo estudiadas anteriormente.

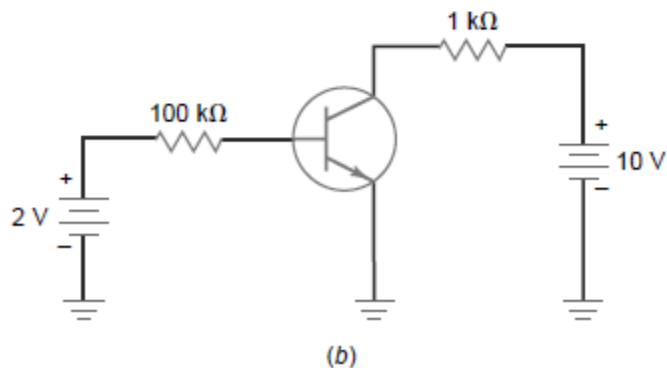
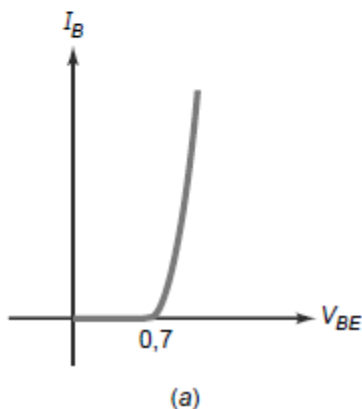
Aplicando la ley de Ohm a la resistencia de la base en el circuito de la Figura b obtenemos esta derivación:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

Si utilizamos un diodo ideal,  $V_{BE} = 0$ . Con la segunda aproximación,  $V_{BE} = 0,7$  V.

En la mayoría de las ocasiones, comprobaremos que la segunda aproximación es el mejor compromiso entre la velocidad de utilizar el diodo ideal y la precisión de las aproximaciones de orden superior. Todo lo que hay que recordar para la segunda aproximación es que  $V_{BE}$  es 0,7 V, como se muestra en la Figura a.

Figura (a) Curva del diodo. (b) Ejemplo.





## Circuitos Electrónicos: El transistor

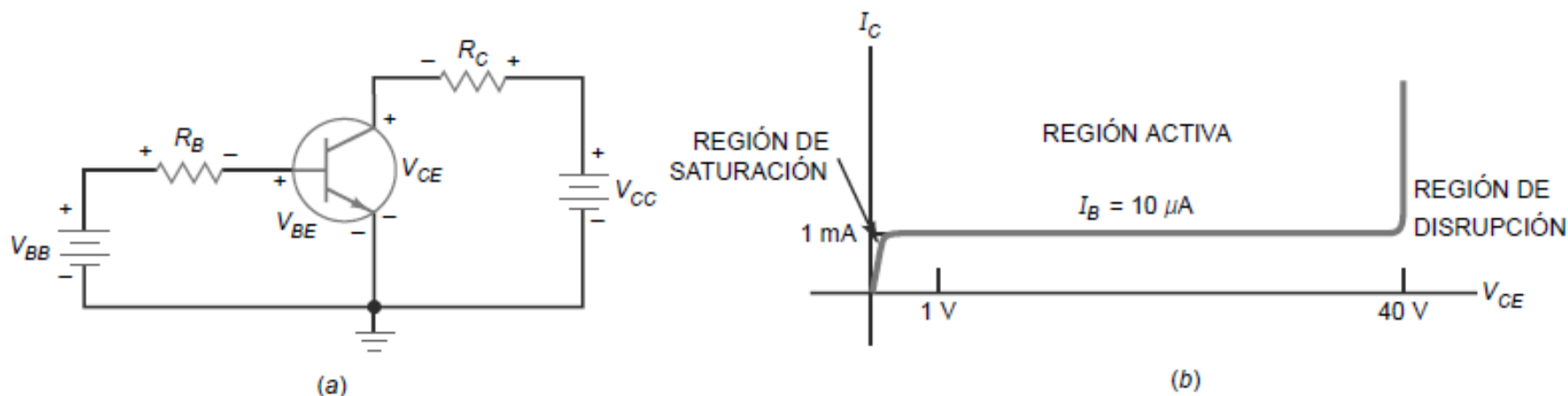
### Curvas de colector

En circuito de la Figura *a*, ya sabemos cómo calcular la corriente de base. Puesto que  $V_{BB}$  polariza en directa al diodo de emisor, todo lo que tenemos que calcular es la corriente a través de la resistencia de base  $R_B$ . Volvamos ahora nuestra atención sobre la malla de colector.

Podemos variar  $V_{BB}$  y  $V_{CC}$  en la Figura *a* para generar diferentes tensiones y corrientes de transistor. Midiendo  $I_C$  y  $V_{CE}$ , podemos obtener los datos de una gráfica de  $I_C$  en función de  $V_{CE}$ .

Por ejemplo, supongamos que cambiamos  $V_{BB}$  para poder obtener una corriente  $I_B = 10 \mu A$ . Teniendo este valor fijo de la corriente de base, podemos variar ahora  $V_{CC}$  y medir  $I_C$  y  $V_{CE}$ . Dibujando estos datos se obtiene la gráfica mostrada en la Figura *b*, (nota: esta gráfica es para un 2N3904, un transistor de baja potencia ampliamente utilizado). Con otros transistores, estos datos pueden variar, pero la forma de la curva será similar.

Figura (a) Circuito básico de transistor. (b) Curva de colector.



### Potencia y tensión de colector

La ley de las tensiones de Kirchhoff establece que la suma de las tensiones alrededor de una malla o camino cerrado es igual a cero. Cuando se aplica al circuito de colector de la Figura 6.9a, la ley de las tensiones de Kirchhoff nos proporciona esta derivación:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

Esto quiere decir que la tensión colector-emisor es igual a la tensión de alimentación del colector menos la tensión que cae en la resistencia de colector.

En la Figura 6.9a, el transistor tiene una disipación de potencia de aproximadamente:

$$P_D = V_{CE} I_C$$

Lo que significa que la potencia del transistor es igual a la tensión colector-emisor por la corriente de colector. Esta disipación de potencia hace que la temperatura de la unión del diodo de colector aumente. Cuanto mayor es la potencia, más alta es la temperatura de la unión.

Los transistores se quemarán cuando la temperatura de la unión se encuentre entre 150 y 200°C. Uno de los parámetros más importantes especificados en una hoja de características es la potencia máxima  $P_{D(\text{máx})}$ . La disipación de potencia dada por la Ecuación (6.8) tiene que ser menor que  $P_{D(\text{máx})}$ . En caso contrario, el transistor se destruirá.

## Circuitos Electrónicos: El transistor

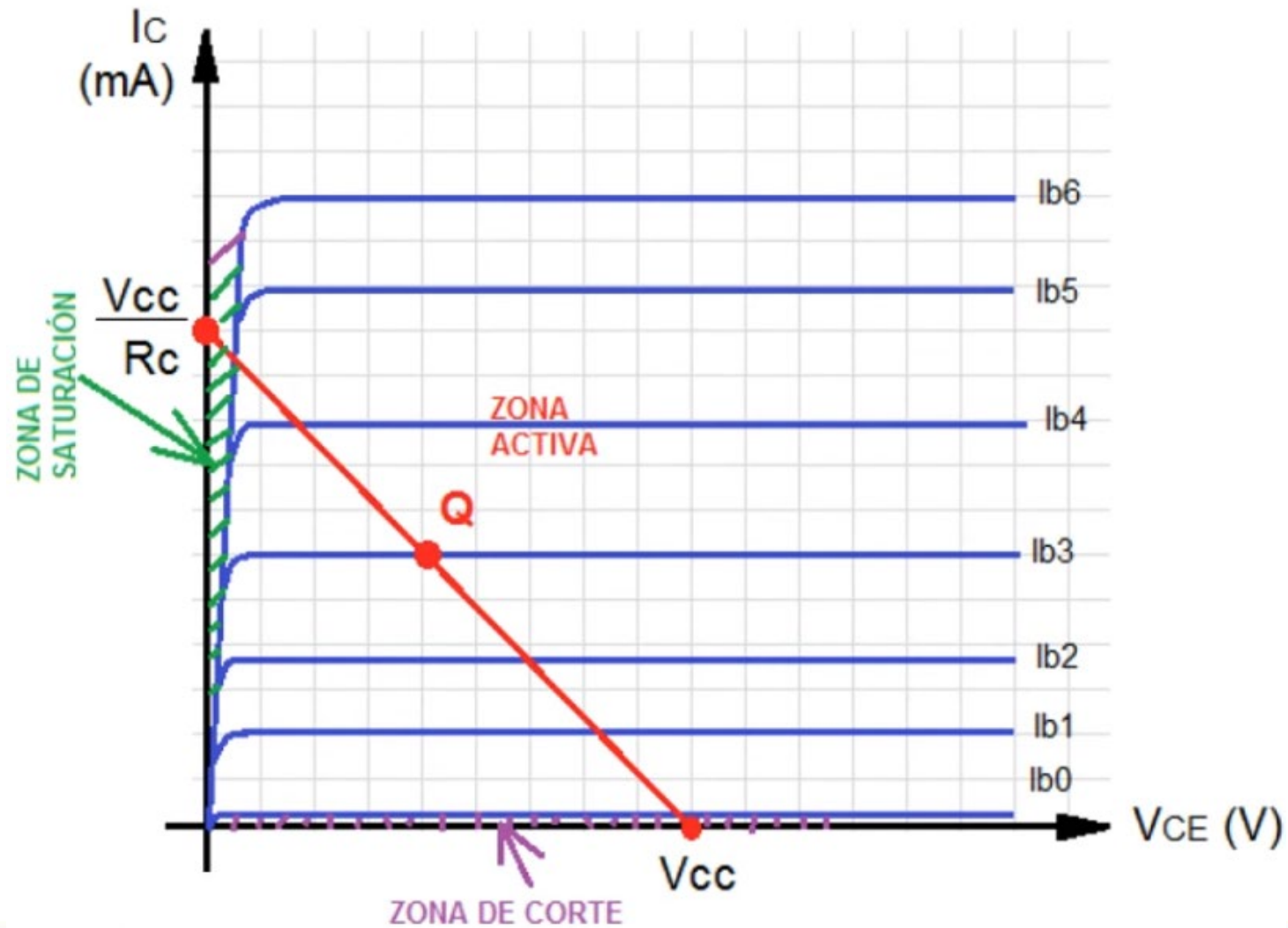
- **Zona de Corte:** La tensión base-emisor  $V_{BE}$  es menor a 0,7 V, lo que implica que la corriente de base  $I_B$  es cero y por lo tanto la corriente por el colector  $I_C$  también será cero (o bien será extremadamente pequeña). La tensión colector-emisor  $V_{CE}$  dependerá de la configuración del circuito. El transistor se comporta como una llave abierta.
- **Zona de Saturación:** La tensión base-emisor  $V_{BE}$  es 0,7 V, por lo que circula una corriente de base  $I_B$ , lo que implica una circulación de corriente  $I_C$  por el colector. La relación entre la corriente de base y la de colector es  $I_B \approx I_C/10$ . La tensión colector-emisor  $V_{CE}$  será aproximadamente cero. El transistor se comporta como una llave cerrada.
- **Zona Lineal:** La relación entre la corriente de base y la corriente de colector es igual a una constante llamada  $\beta$ , siendo la de colector la mayor de las dos. El transistor es utilizado como amplificador y en el circuito de colector la corriente sigue las variaciones de la corriente de base.

### Transistor en conmutación

Se dice que el transistor opera en conmutación cuando trabaja en las zonas de corte y saturación. En general, éste es el uso que se le da al transistor en los circuitos de control.

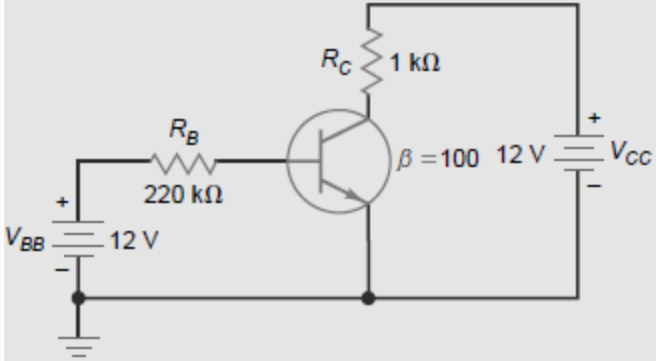
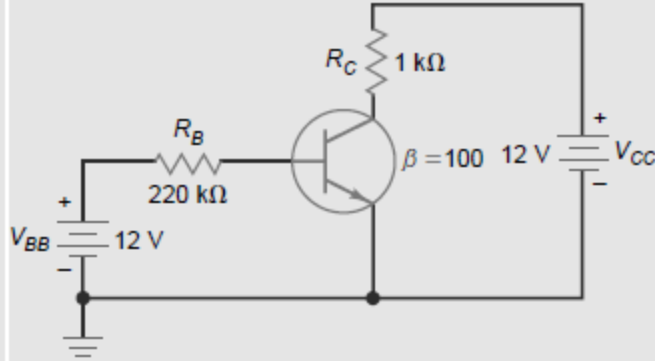
Podemos decir que el transistor actúa como una llave electrónica en el circuito colector-emisor, operada por la corriente de base, como se muestra a continuación. Tiene en general una rápida actuación, lo que hace que se pueda utilizar a frecuencias relativamente altas. Las características básicas de un transistor pueden apreciarse en la hoja de datos que se adjunta al final del apunte.

## Circuitos Electrónicos: El transistor

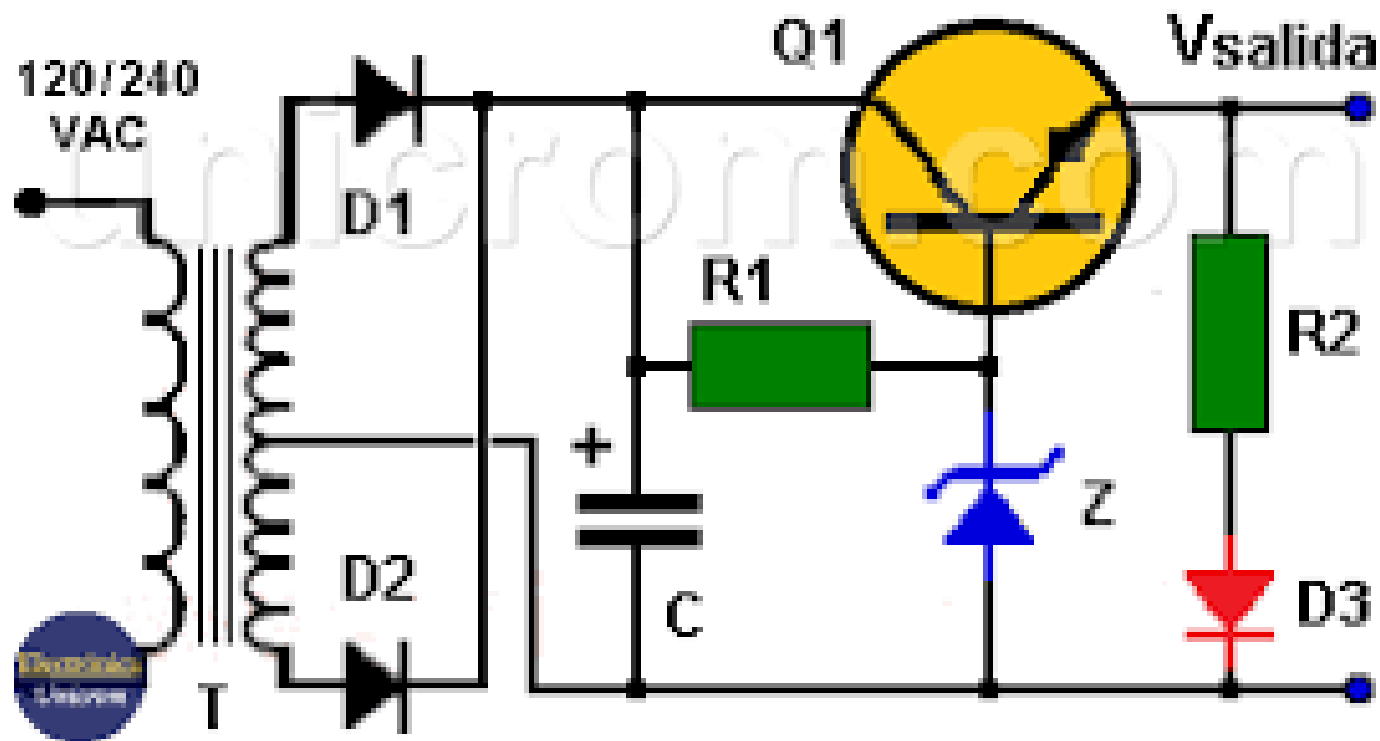


## Circuitos Electrónicos: El transistor

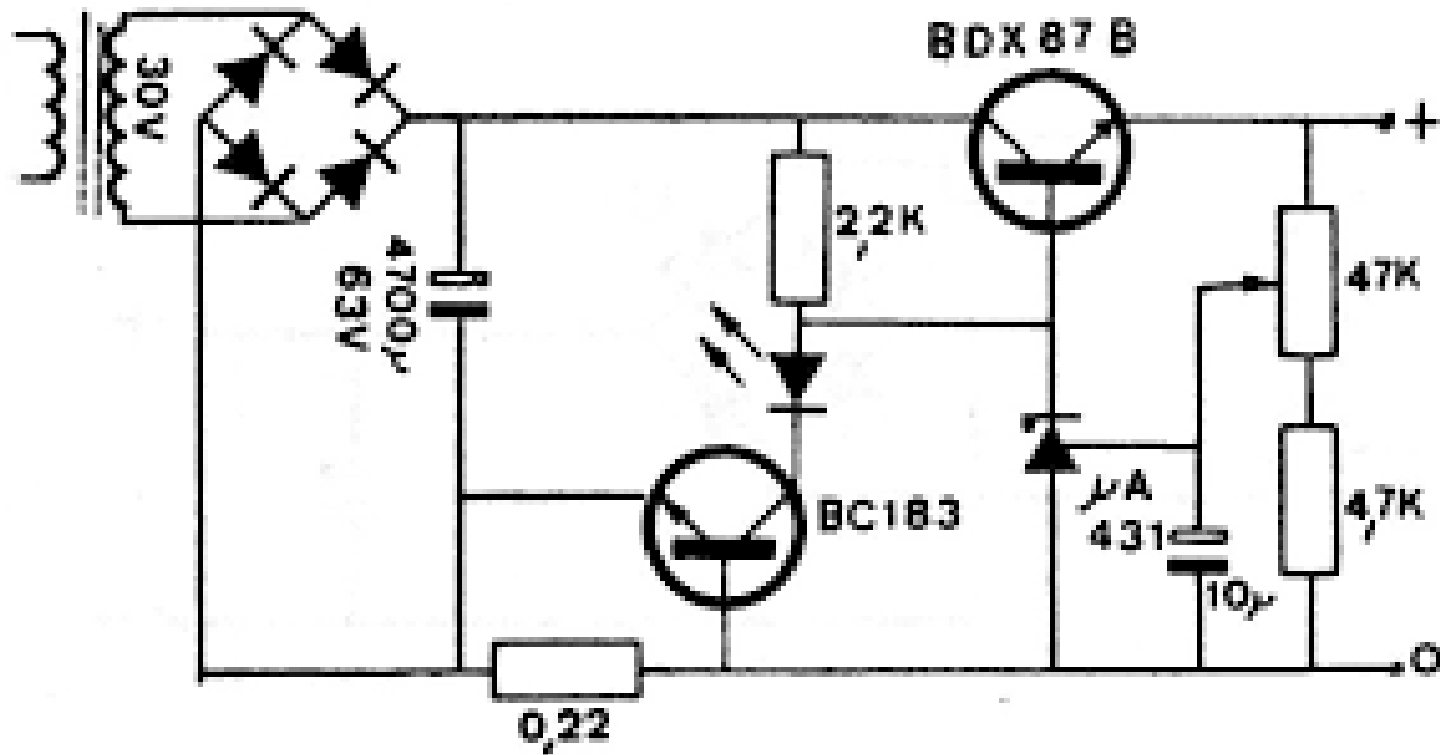
Tabla-resumen 6.1 Aproximaciones del circuito de transistor

	Ideal	Segunda
Circuito		
Se utiliza	Detección de averías o estimaciones aproximadas.	Cuando se necesitan cálculos más precisos. Especialmente cuando $V_{BB}$ es pequeña.
$V_{BE} =$	0 V	0,7 V
$I_B =$	$\frac{V_{BB}}{R_B} = \frac{12 \text{ V}}{220 \text{ k}\Omega} = 54,5 \mu\text{A}$	$\frac{V_{BB} - 0,7 \text{ V}}{R_B} = \frac{12 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{220 \text{ k}\Omega} = 51,4 \mu\text{A}$
$I_C =$	$(I_B) (\beta_{dc}) = (54,5 \mu\text{A}) (100) = 5,45 \text{ mA}$	$(I_B) (\beta_{dc}) = (51,4 \mu\text{A}) (100) = 5,14 \text{ mA}$
$V_{CE} =$	$V_{CC} - I_C R_C$ $= 12 \text{ V} - (5,45 \text{ mA}) (1 \text{ k}\Omega) = 6,55 \text{ V}$	$V_{CC} - I_C R_C$ $= 12 \text{ V} - (5,14 \text{ mA}) (1 \text{ k}\Omega) = 6,86 \text{ V}$

### Fuente de 9 Voltios con Diodo Zener y Transistor de paso

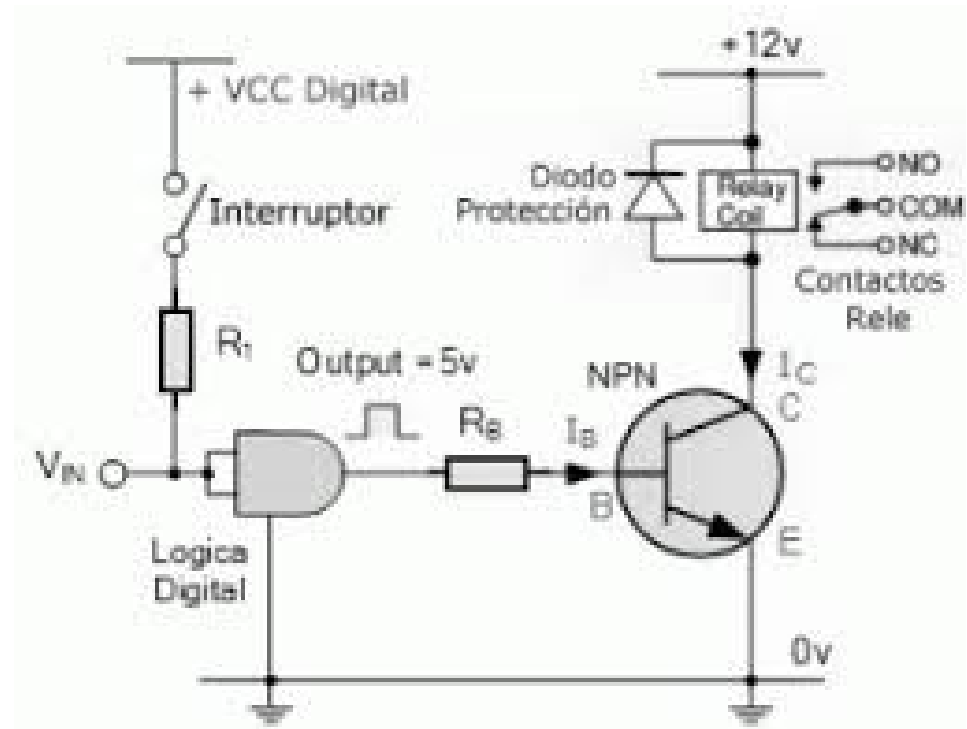
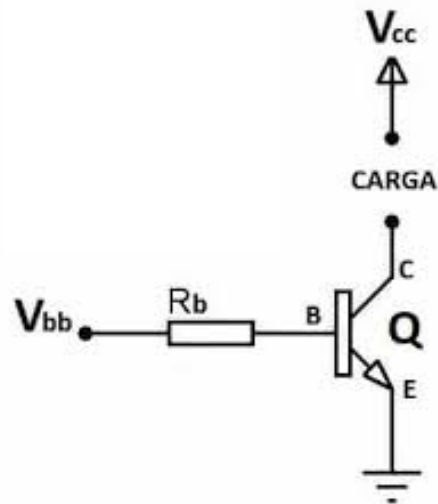


## Circuitos Electrónicos: Circuitos con transistores

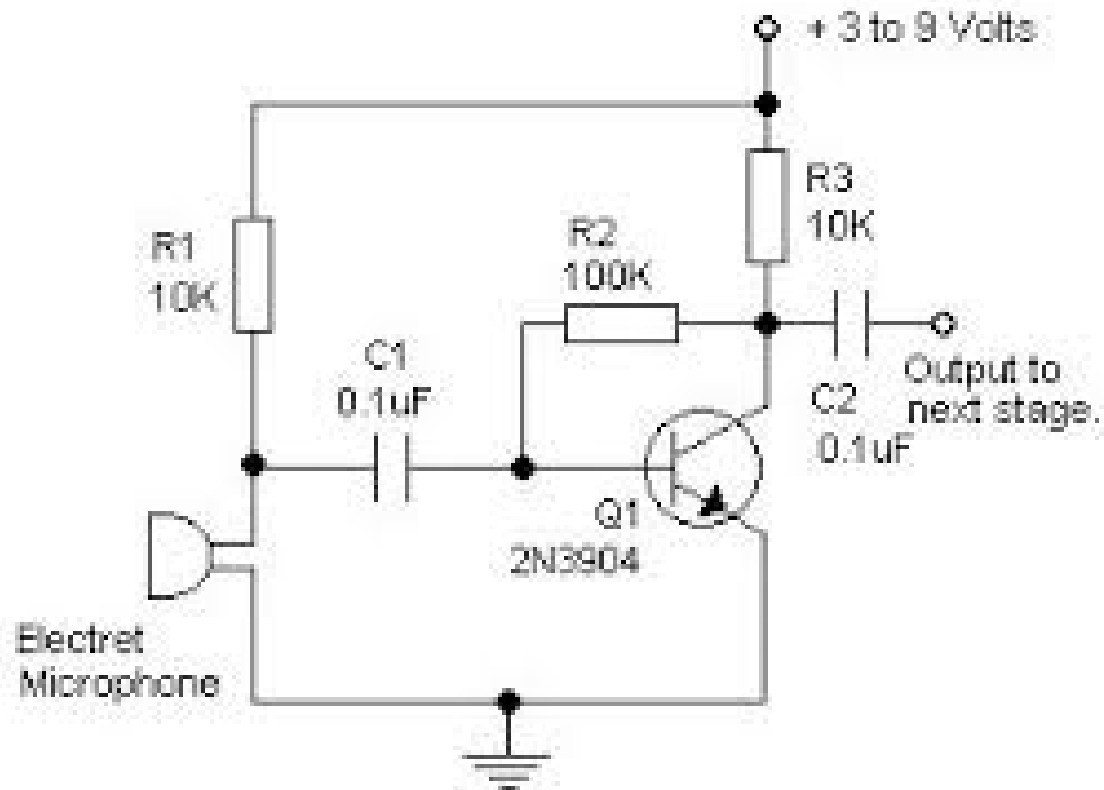


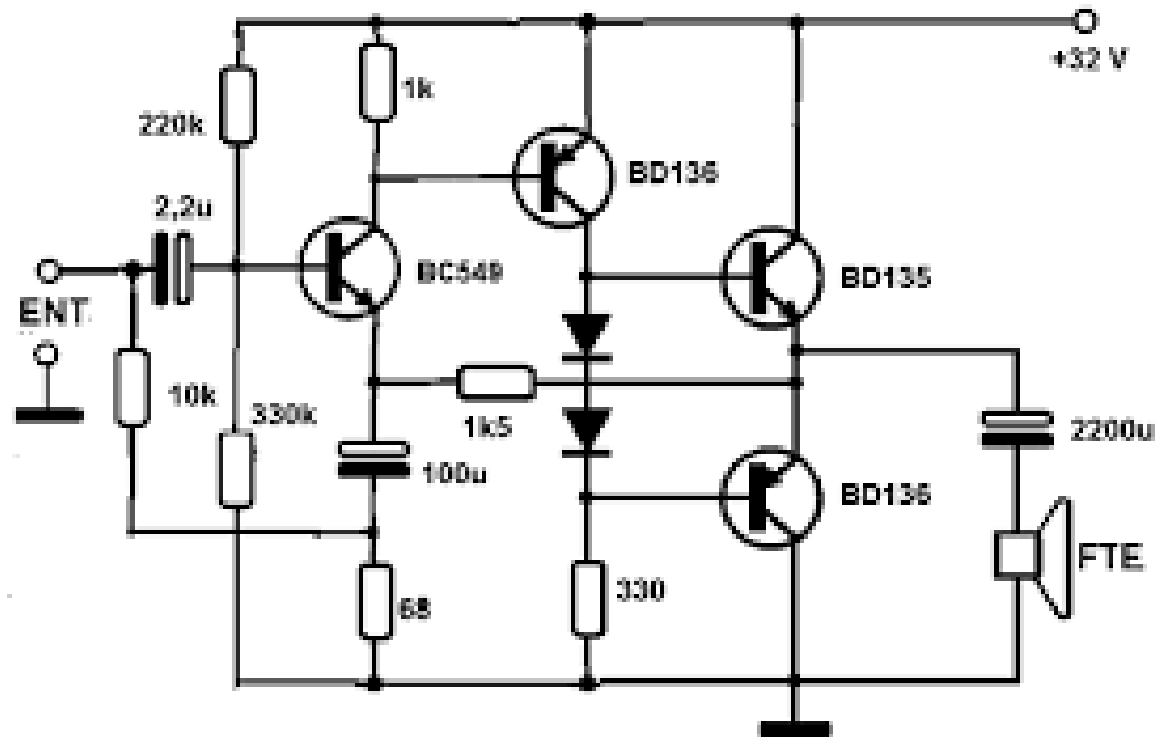


## Circuitos Electrónicos: Circuitos con transistores

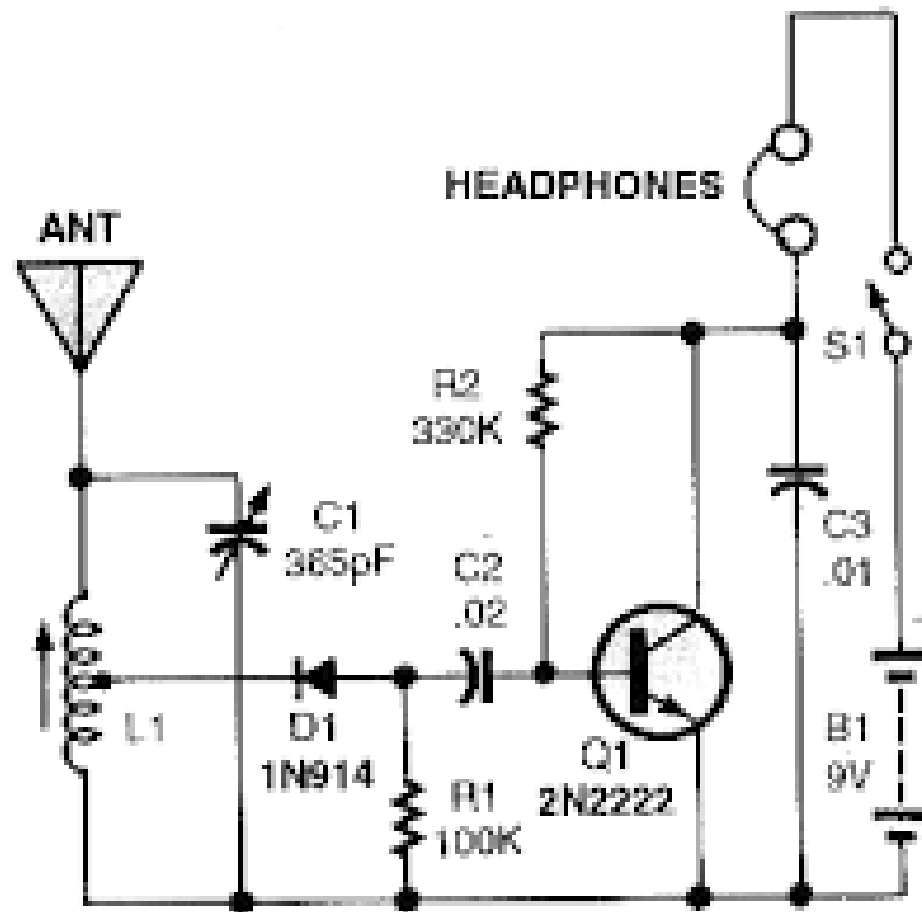


## Circuitos Electrónicos: Circuitos con transistores

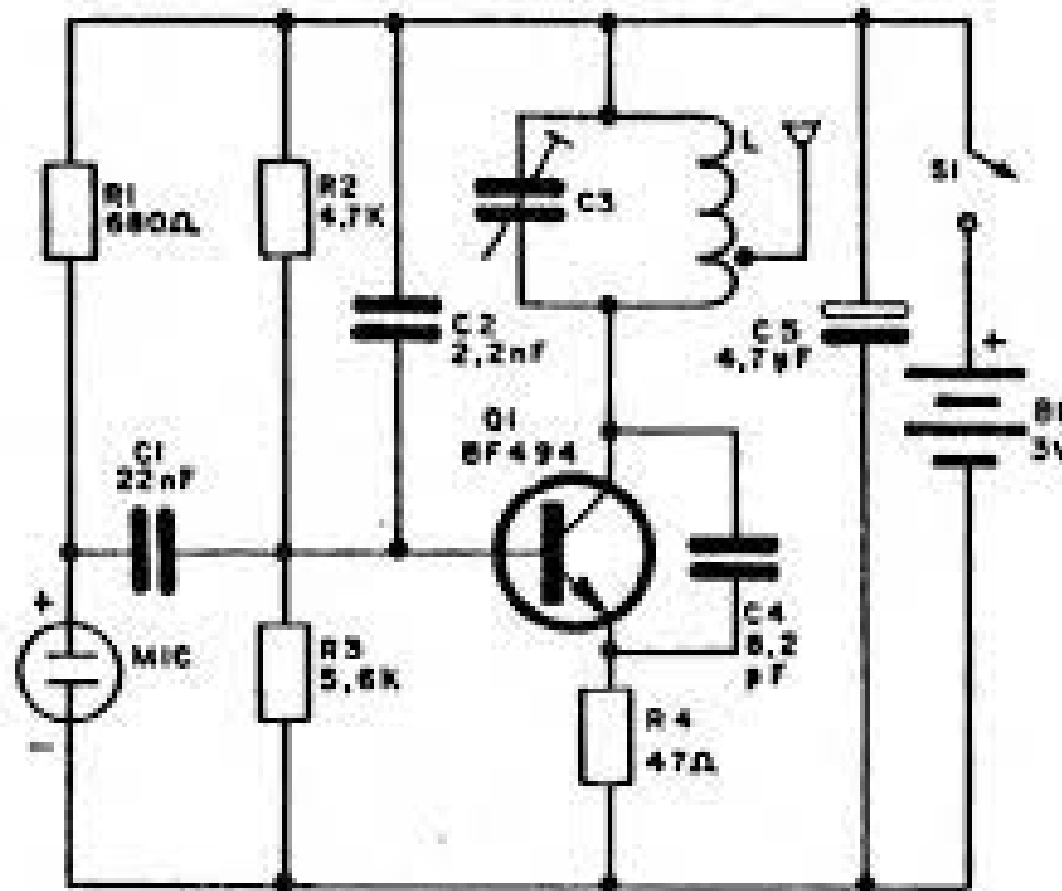




## Circuitos Electrónicos: Circuitos con transistores



## Circuitos Electrónicos: Circuitos con transistores

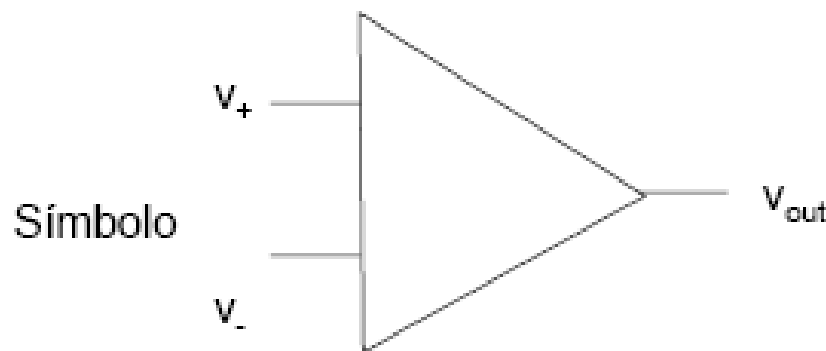


## Circuitos Electrónicos: El Operacional

### El amplificador Operacional

☞ El Amplificador Operacional es un **amplificador de gran ganancia**, empleado para llevar a cabo múltiples funciones (filtrado analógico, rectificación, conmutación, acoplamiento...)

☞ “**Circuito integrado básico**”

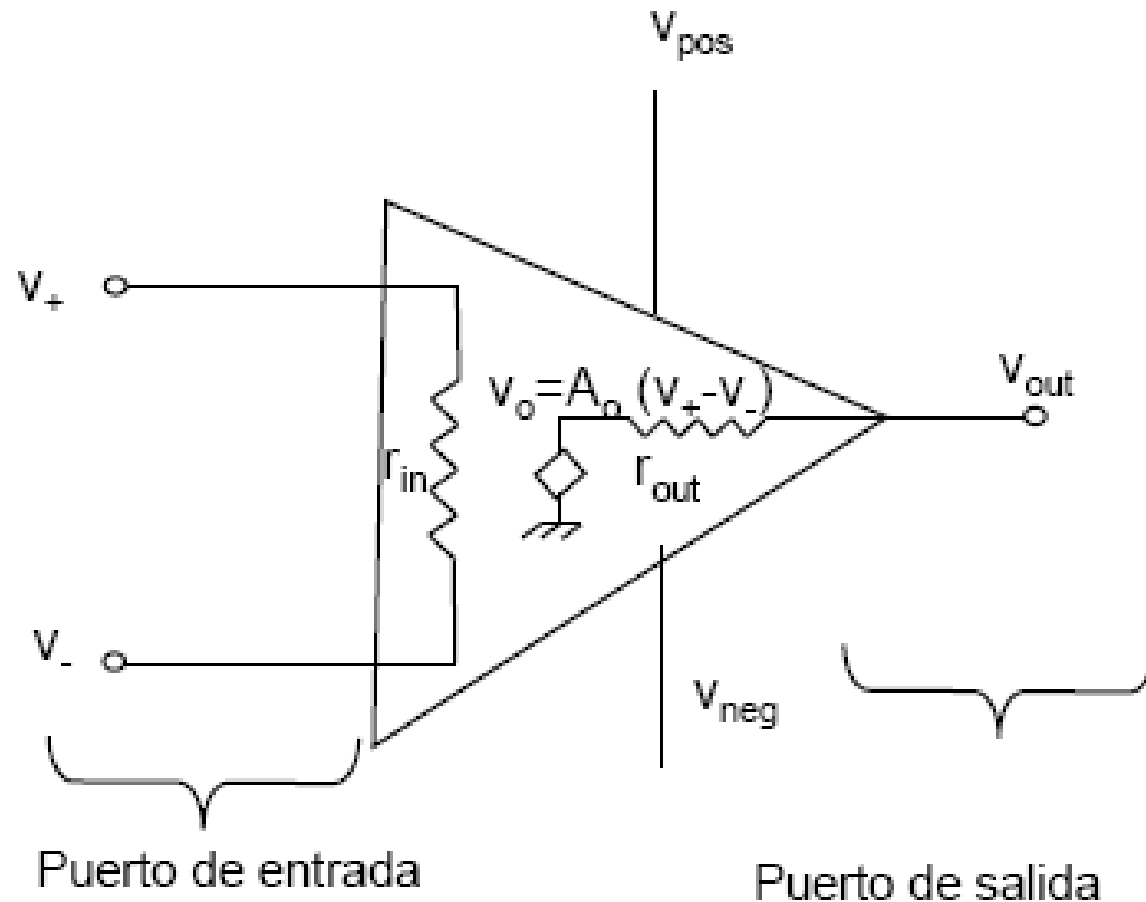


$$V_{out} = A(v_+ - v_-)$$

↓  
**GANANCIA**

## Circuitos Electrónicos: El Operacional

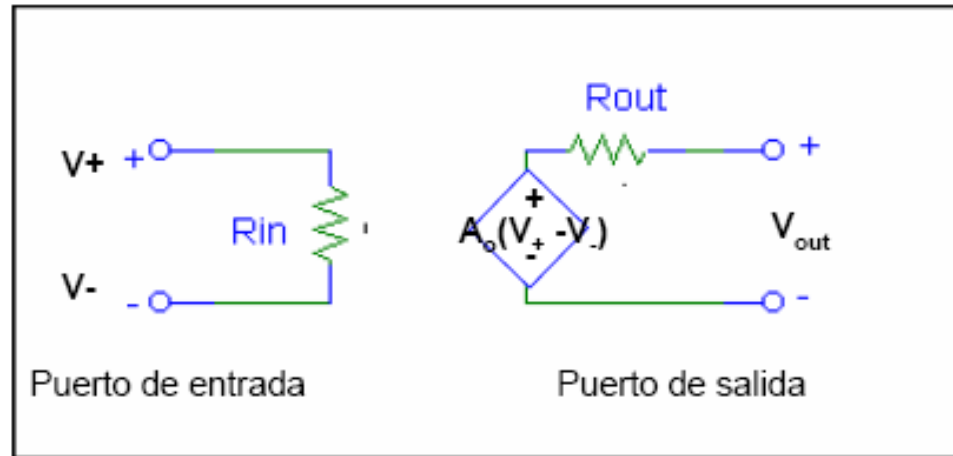
### MODELO SIMPLIFICADO DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL





## Circuitos Electrónicos: El Operacional

### MODELO SIMPLIFICADO DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL



### MODELO SIMPLIFICADO DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Valores típicos

$$10^4 \leq A_o \leq 10^6$$

$$r_{in} \geq 10^6 \Omega$$

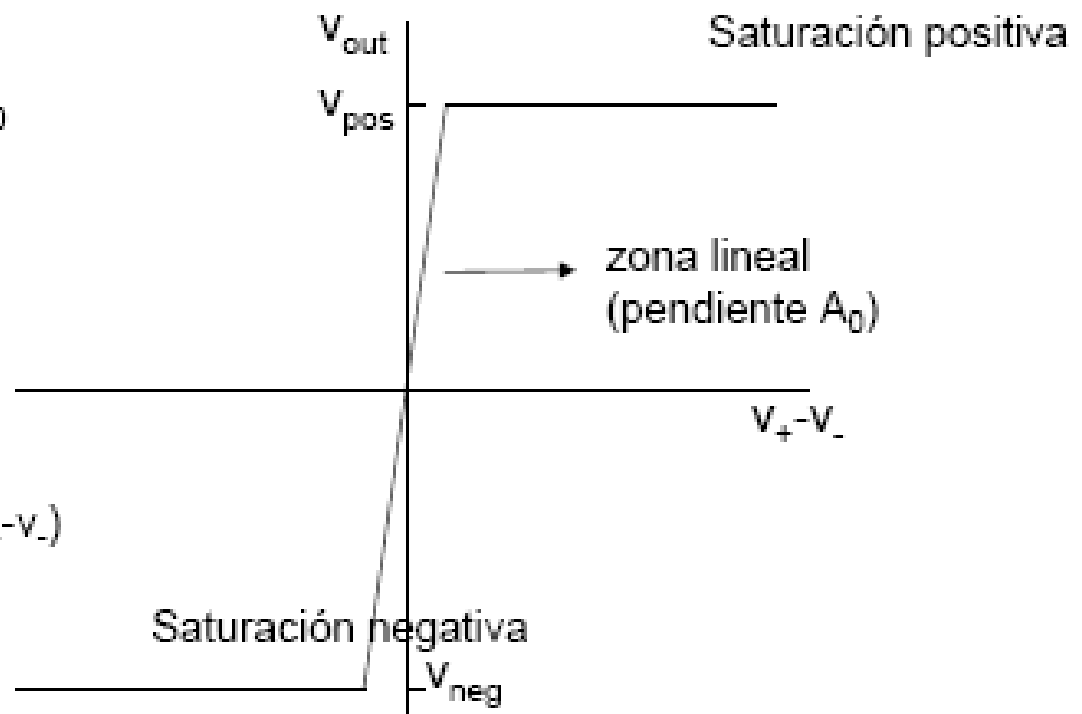
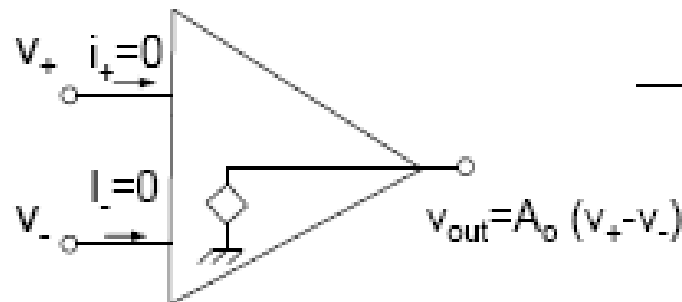
$$r_{out} \leq 100 \Omega$$

$V_o$  tiene como límites ideales  $V_{pos}$  y  $V_{neg}$

## Circuitos Electrónicos: El Operacional

### APROXIMACIÓN IDEAL DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

- Los límites de saturación son los voltajes de alimentación ( $v_{pos}$  y  $v_{neg}$ )
- $A_0$  es muy alta
- $r_{in}$  muy alta  $\Rightarrow v_+ = v_-$
- $r_{out}$  muy baja  $\Rightarrow v_{out} = v_0$



## Circuitos Electrónicos: El Operacional

### Circuitos Amplificadores de Señal:

- ✓ Amplificador Inversor
- ✓ Amplificador No Inversor

### Circuitos Convertidores de Señales

- ✓ Convertidores D/A
- ✓ Convertidores A/D

### Circuitos Operadores de Señales

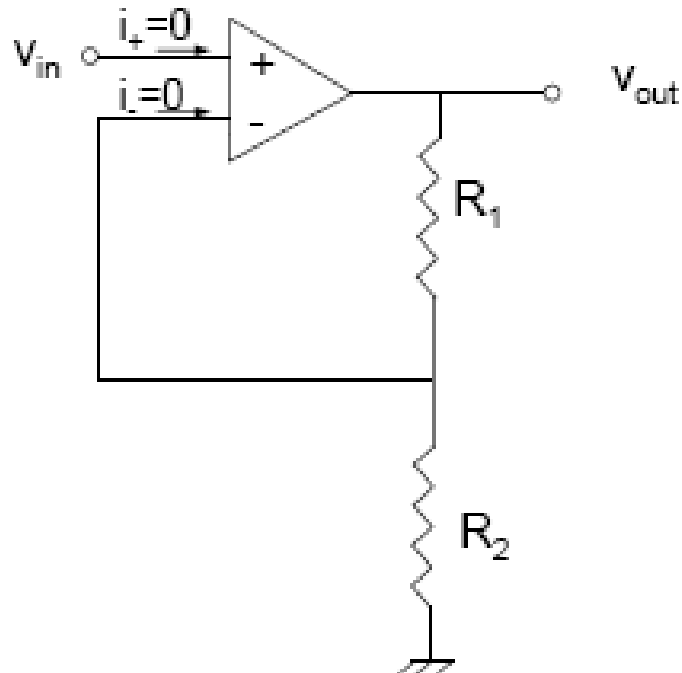
- ✓ Sumador
- ✓ Derivador
- ✓ Integrador
- ✓ Comparador

### Circuitos Filtros Activos

- ✓ Filtro Paso Bajo
- ✓ Filtro Paso Alto
- ✓ Filtro Paso Banda
- ✓ Filtro Banda Eliminada

## Circuitos Electrónicos: El Operacional

### Amplificador no inversor



Función de transferencia

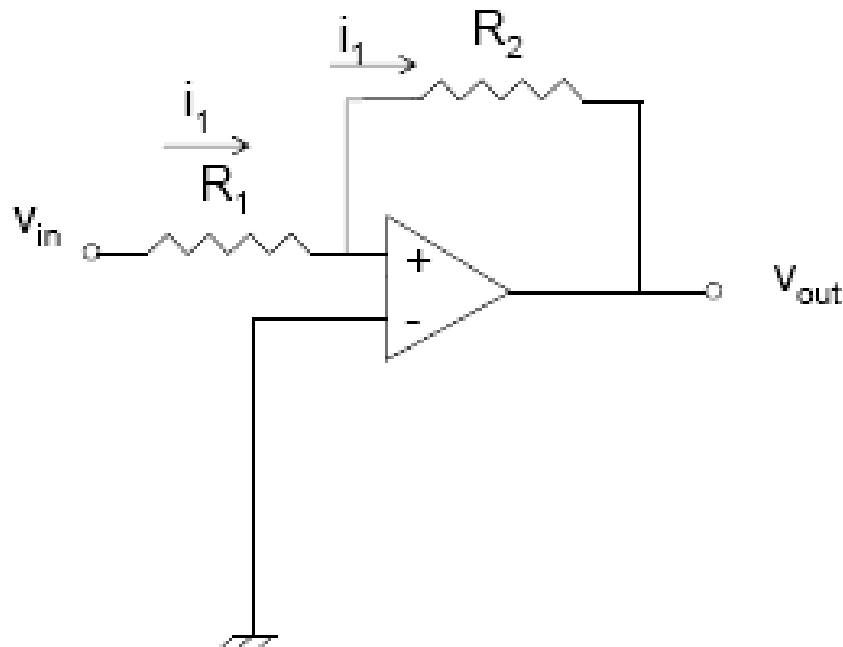
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_2 + R_1}{R_2}$$

Resistencia de entrada

$$R_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \infty$$

## Circuitos Electrónicos: El Operacional

### Amplificador inversor



Función de transferencia

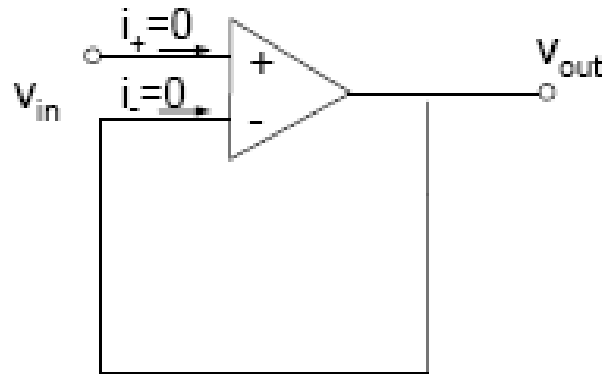
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Resistencia de entrada

$$R_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = R_1$$

## Circuitos Electrónicos: El Operacional

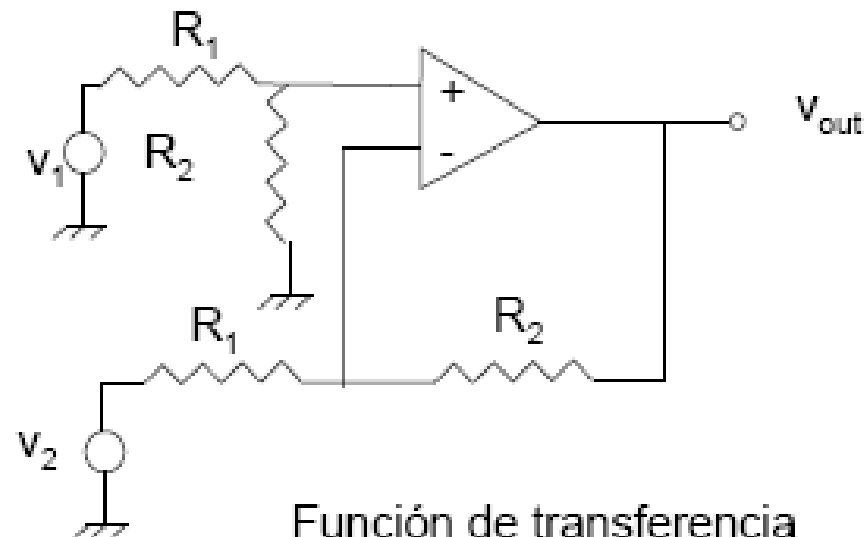
**Seguidor de voltaje**



Función de transferencia

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = 1$$

**Amplificador diferencial**

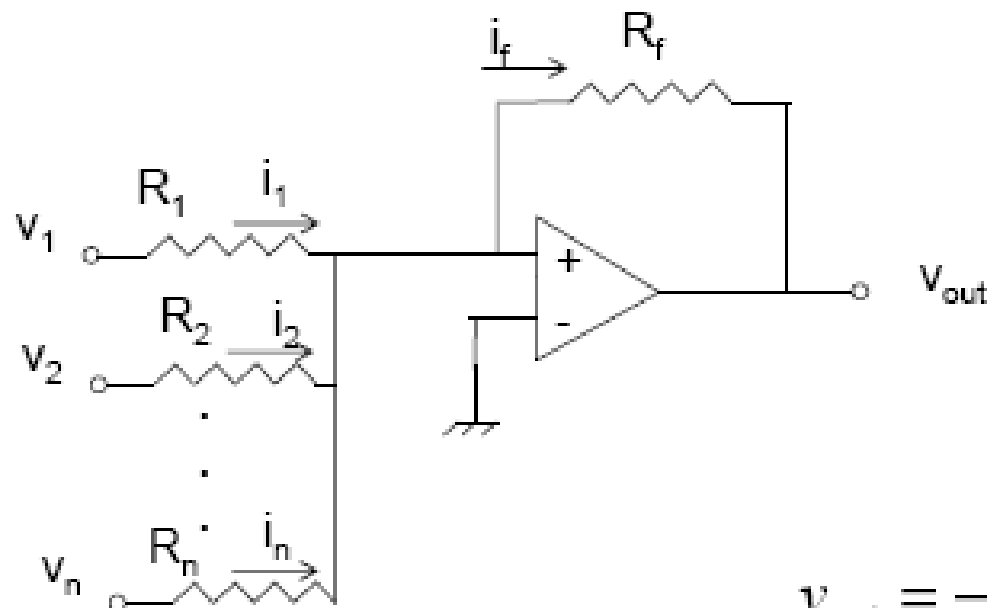


Función de transferencia

$$v_{out} = \frac{R_2}{R_1} (v_1 - v_2)$$

## Circuitos Electrónicos: El Operacional

### Amplificador sumador



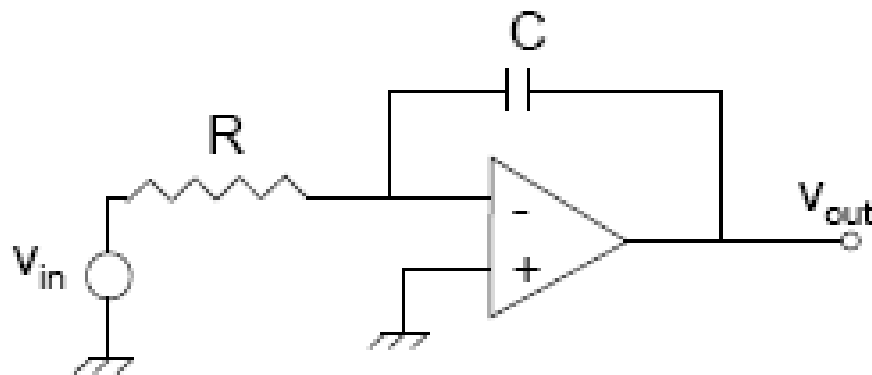
Función de transferencia

$$v_{out} = -R_f \left( \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \dots + \frac{v_n}{R_n} \right)$$



## Circuitos Electrónicos: El Operacional

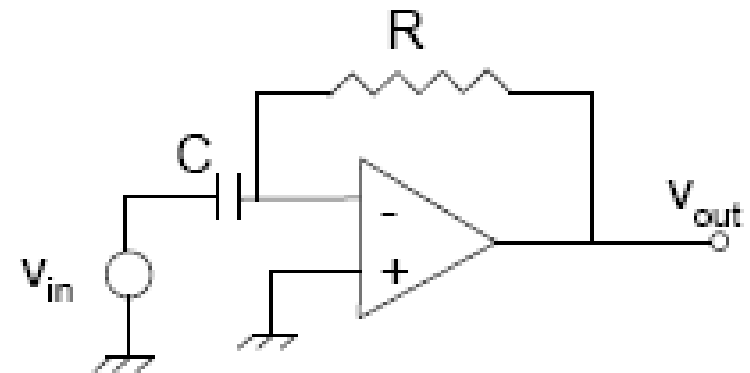
### Integrador



Función de transferencia

$$v_{out} = \frac{-1}{RC} \int v_{in} dt$$

### Diferenciador

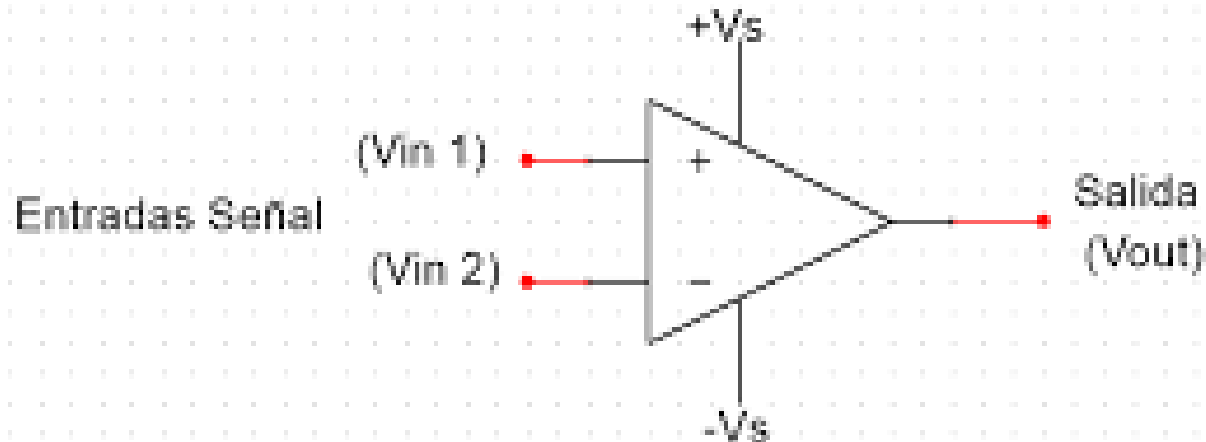


Función de transferencia

$$v_{out} = -RC \frac{dv_{in}}{dt}$$

## Circuitos Electrónicos: El Operacional

Comparador de Voltaje

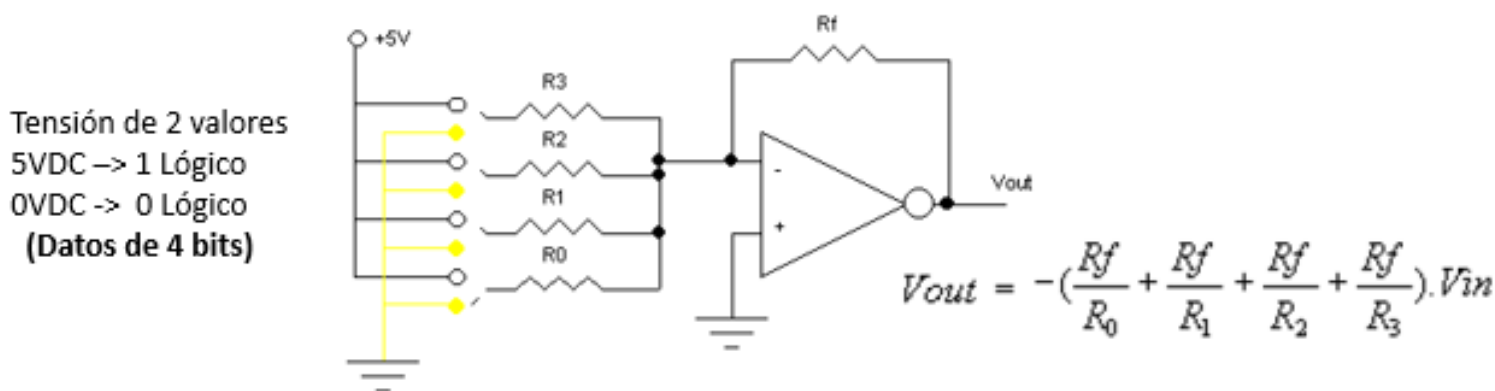


$$V_{out} = +V_s \quad \text{si} \quad V_{in 1} > V_{in 2}$$

$$V_{out} = -V_s \quad \text{si} \quad V_{in 2} > V_{in 1}$$

## Circuitos Electrónicos: El Operacional

El convertidor **Digital/Analógico (D/A)**, produce una salida igual a la suma ponderada de las entradas, donde el peso de cada entrada esta dado por la ganancia de cada canal.



$$R_0 = R_0 / 2^0 = R_0 / 1 = R_0$$

$$R_1 = R_0 / 2^1 = R_0 / 2$$

$$R_2 = R_0 / 2^2 = R_0 / 4$$

$$R_3 = R_0 / 2^3 = R_0 / 8$$

$$R_f = R_3$$

(Resistencia mas baja de las entradas digitales)

v3	v2	v1	v0	Vout (V)
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0,625
0	0	1	0	1,25
0	1	0	0	2,5
1	1	1	1	9,375

## Circuitos Electrónicos: El Operacional

El convertidor **Analogico/Digital (A/D)**, produce un conjunto de salidas con solo dos niveles De voltaje (0 y 1), partir de un rango de voltajes a la entrada.

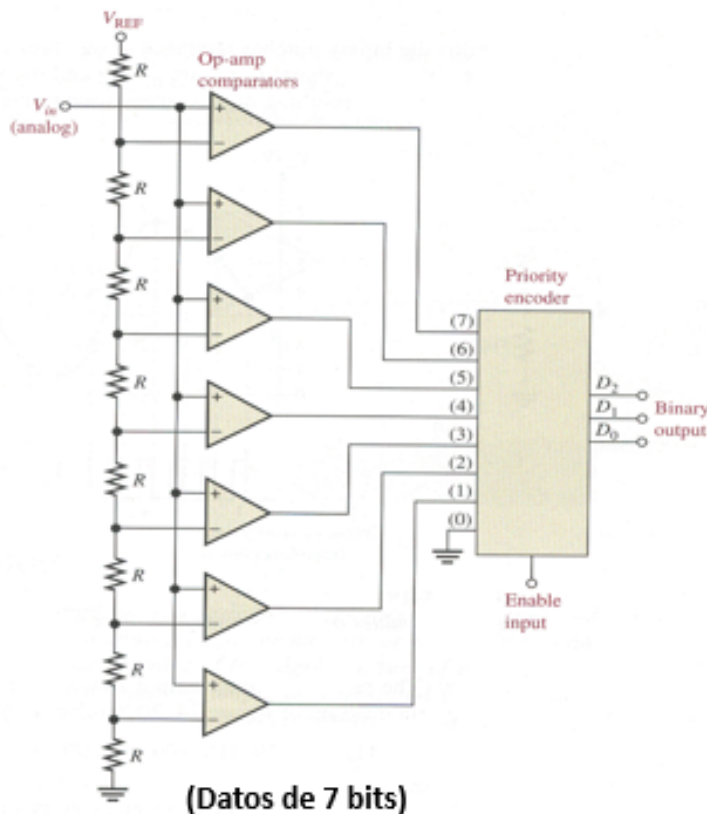
$$V_{ref} = 5VDC$$

$$+V \text{ y } -V = 5VDC$$

$$\text{Resolución} = V_{ref} / n+1$$

Donde n = bits de salida

$$\text{Resolución} = 5 / 8 = 0,625 \text{ V}$$



7	6	5	4	3	2	1	Vin (V)
0	0	0	0	0	0	0	0 a 0,625
0	0	0	0	0	0	1	0,625 a 1,25
0	0	0	0	0	1	0	1,25 a 1,875
0	0	0	0	1	0	0	1,875 a 2,5
0	0	0	1	0	0	0	2,5 a 3,125
0	0	1	0	0	0	0	3,125 a 3,75
0	1	0	0	0	0	0	3,75 a 4,375
1	0	0	0	0	0	0	4,375 a 5

¡Muchas gracias!